TRATADO

DE NAVEGACION.

TOMO PRIMERO.

TRATADO

DE NAVEGACION.

POR

DON JOSEF DE MENDOZA Y RIOS,

TENIENTE DE NAVIO DE LA REAL ARMADA.

TOMO PRIMERO.

DE ÓRDEN SUPERIOR.

MADRID: EN LA IMPRENTA REAL.

AÑO DE 1787.

AL REY.

SEÑOR.

Entre las sábias disposiciones con que V. M. ha hecho glorioso su reynado, es muy notable su constante real atencion *en aumentar las fuerzas navales, y el comercio marítimo: polos sobre que se sostiene y gira la seguridad y prosperidad de esta Monarquía.*

V. M. ha encontrado tambien el medio mas seguro de conseguir estos importantes objetos, promoviendo la sólida instruccion de los Oficiales de su Real Armada. Á cuyas soberanas intenciones ha correspondido ya este Cuerpo, dando muestras de que en breve conocerá y admirará la Europa los efectos de tan acertadas providencias.

Deseoso de contribuir por mi parte al lógro de esta felíz época, he formado el Tratado de Navegacion que presento á los reales pies de V. M. Y espero que, al salir á la luz pública, le continuará V. M. el benigno acogimien-

to que hasta ahora se ha dignado dispensarle. Honor que me infundirá nuevo aliento, para emplear todas mis fuerzas en servicio de V. M. y utilidad del público.

Señor.

A L. R. P. de V. M.

Josef de Mendoza y Rios.

ANÁLISIS DE ESTE TRATADO,

con que Don Cypriano Vimercati, Director de la Academia de Guardias Marinas del Ferrol, acompañó su censura, y que S. M. ha mandado imprimir en este lugar, como propio para dar una idea del contenido de la obra á quien no pueda exâminarla en sí misma, ó necesite únicamente alguna parte de ella.

El Tratado de Navegacion matemática escrito por el Teniente de Navio Don Josef de Mendoza y Rios, está dividido en dos partes ó libros. El primero contiene unos elementos de Astronomía, y el segundo los del Pilotage: unos y otros quales son menester, no tanto para exercer esta profesion con un desempeño comun, quanto para promoverla, y poner al Piloto en estado de adelantar los límites de la Geografía y de la Navegacion, y servir con reputacion á su patria y á la humanidad. Así el autor escribe solo para los que tengan conocimientos fundamentales de la Aritmética, Geometría, y las dos Trigonometrías, sin cuyos principios no podrán dar un solo paso: y si ademas tuvieren los de la Geometría y cálculos superiores, será sin comparacion mayor el estímulo y la utilidad en que el autor quiere que cada uno se haga la medida. Se han omitido en ella los exemplos por la mayor parte; y así es poco accesible para los muy principiantes, si no estuvieren por otra parte muy exercitados en las Matemáticas puras. Sin embargo, aun estos hallarán en esta obra un gran número de cosas, que les serán de mucho uso. Los versados en la Geometría sublime en nada tendrán que tropezar.

TOMO PRIMERO.

LIBRO I.

Este libro contiene los elementos de Geografía, los de Astronomía, y unos breves principios de Cronología.

En la introduccion general á toda la obra presenta el autor la idea del Pilotage práctico, y hace ver su insuficiencia para los viages distantes de las costas: la Navegacion teórica, los instrumentos de que se sirve, como la aguja y la corredera, los errores á que están sujetos: las Cartas hydrográficas, los inconvenientes y error de las planas, y la exâctitud de las esféricas. Y como á pesar de esta exâctitud, para la distancia y el rumbo no se puede prescindir de la aguja y corredera, resulta una incertidumbre, que solo se puede evitar recurriendo á la Navegacion astronómica. De esta importancia nace por conseqüencia la necesidad de que á un tratado de Pilotage precedan los conocimientos astronómicos, y el de la figura de la Tierra. Añade á estos el conocimiento de la Navegacion, que llama con mucha propiedad *experimental*, fundada en la Geografía, la Física y la Historia Natural. Y concluye con hacer ver la necesidad de que el Piloto se exercite en la práctica de la Astronomía náutica, á quien sirve de basa la exâctitud de las observaciones hechas á bordo, y el uso de los instrumentos con que se practican. Esta introduccion es como una vista general de la Navegacion, y un prospecto de la obra, que está escrito con dignidad.

PRINCIPIOS DE GEOGRAFIA.

Divídela en tres partes, segun tres diferentes respetos: la Geografía matemática ó astronómica: la Geografía física ó Historia natural de la Tierra: y la histórica ó política, que divide las Naciones é Imperios.

A la primera pertenece la averiguacion de la figura de la Tierra. Hace ver como de las observaciones se concluye su curvatura esférica, y la magnitud de su círculo máxîmo, aunque las últimas observaciones han descubierto ser algo chata hácia los polos, y la razon en que están sus diámetros. Pasa despues á explicar la division natural de sus partes, como Mares, Continentes &c. Da con toda extension las definiciones que esta division comprehende, y exhibe una Carta general de toda la superficie del globo.

En la division política señala los límites de las quatro principales, que se llaman partes del Mundo. Y en cada una forma tablas en que no hace mas que apuntar los paises ó reynos mas considerables, sus principales ciudades y cortes, sus grandes rios y montes, y la religion dominante, mares que las bañan, islas, golfos y estrechos.

De aquí procede á tratar mas en particular de la Geografía astronómica, y del modo de fixar los puntos de la superficie de la Tierra. Comprehende esto todas las nociones que solemos entender baxo el nombre de *Cosmografía*, dexando algunas para tratarlas despues de propósito en la Astronomía. Concluye con la teoría de los Mapas ó Cartas geográficas, dando primero la idea general de las proyecciones, y explicando particularmente, segun el método de Mr. Bezout, la stereográfica, de la qual deduce la formacion de los Mapas. Estos principios de Geografía son claros y elementares.

ASTRONOMIA.

En la introduccion da una vista ligera á sus progresos desde Ptolomeo hasta la determinacion del verdadero sistema fundado en las leyes de la atraccion, y en la hipotesis del movimiento de la Tierra. Propónese despues seguir el plan de Mr. La Caille, que explica primero los fenómenos, como vistos desde el Sol, donde están despojados de las ilusiones ópticas, que ocasiona el doble movimiento de la Tierra, y los reduce despues á lo que deben parecer vistos desde la superficie del globo. Eleccion que me parece acertada. Y este mismo plan hace la division del tratado en dos partes.

PARTE PRIMERA.

Considerando, pues, en la primera al observador en el Sol, le hace notar: 1° las estrellas fixas: 2° los Planetas con sus caracteres y diferencias. Explica el modo de situar la

po-

posicion de las fixas, dividirlas en constelaciones, formar catálogos, y hacer una exâcta descripcion del Cielo. Señala por menor el número y nombres de las constelaciones, el modo de distinguirlas, y el de reconocer las estrellas, con el fin de que el Piloto conozca á lo ménos las principales. Para esto le nombra y señala las de primera magnitud, forma la historia de los catálogos muy circunstanciada, y enseña el modo práctico de reconocerlas en el Cielo por medio de una Carta celeste, por las enfilaciones y ángulos que forman, y por otros medios.

2.° Los Planetas y sus satélites, sus diferentes velocidades, y los Cometas, de los quales da la idea general, aunque despues no habla de ellos en particular, por no tener uso en la Navegacion. Describe las manchas de los Planetas, que dan á conocer sus rotaciones ó movimientos diurnos: sus revoluciones periódicas, el modo de determinarlas por observacion, refiriéndolos á las fixas: las inclinaciones de los planos de sus orbitas: el zodiaco, y la division de signos. El modo de averiguar la desigualdad de los movimientos planetarios, y sus velocidades. Sus orbitas elípticas con varios problemas sobre su movimiento en las elipses, con especialidad el famoso problema de Kepler, segun el método de Mr. La Lande.

Prosigue, y explica despues mas en particular el modo de hallar los elementos de la orbita de un Planeta, la excentricidad, el afelio, y el lugar medio. Deduce la hipotesis física de los movimientos planetarios; y concluye esta primera parte con dar una idea de la perturbacion que resulsulta en ellos por la mutua atraccion de los mismos Planetas, y pone las fórmulas de las fuerzas perturbatrices muy clara y elementarmente.

PARTE SEGUNDA.

En la segunda parte se explican los fenómenos celestes como aparecen vistos desde la Tierra. Empieza por los que proceden de su movimiento diurno, y señala las ilusiones ópticas que de él resultan. Con este motivo repite, y explica mas en particular algunas nociones de la esfera, que habia dado en la Geografía, como la del horizonte, equador, paralelos &c., y establece las demas que allí omitió, y penden de este movimiento.

De aquí pasa á los dos, que son aparentes en el Sol, y reales en la Tierra, y á los fenómenos que de ellos proceden, y cuyas apariencias no penden de la posicion del observador sobre la superficie de la Tierra: tales son las declinaciones del Sol, sus variaciones y límites, los puntos equinocciales y solsticiales &c., y lo demas que proviene de su movimiento anuo.

Explica despues los que nacen del aparente diurno relativamente á las distintas posiciones del observador. Aquí trata de las tres posiciones de la esfera, y lo que de ellas resulta en los arcos nocturnos y diurnos, que describen los astros, sus alturas meridianas, las diferencias en la duracion de los dias y noches, los climas &c. Finalmente hace ver como del movimiento anuo de la Tierra, combinado con el diurno y el paralelismo de su exe, nace la regularidad

de

de las estaciones, y su exâcta contrariedad en los climas opuestos, sin necesidad de imaginar para esto otro movimiento alguno. Y de aquí deduce conseqüencias, y hace reflexîones sobre los grados de frio y de calor, y las variaciones que se experimentan en algunos paises. Todo esto está tratado con la extension conveniente y con mucha claridad.

Enseña despues el modo de referir todos estos fenómenos, que proceden del movimiento diurno de los astros á los círculos de la esfera, que no son fixos, porque los determina la posicion de un lugar particular, tomado sobre la superficie de la Tierra: y aquí trata: 1.º el modo de determinar la latitud, las declinaciones de los astros, y sus arcos semidiurnos: 2.º de los círculos verticales y almicantarats; de los azimuthes y amplitudes: 3.º de los ángulos horarios: y resuelve sobre todo esto varios problemas por las fórmulas conocidas de la Trigonometría esférica. Refiere despues los astros, y enseña á calcular sus posiciones con relacion á los círculos fixos, y comunes á todos los observadores, como son el equador, la ecliptica, y los coluros, y á determinar por consiguiente sus longitudes, latitudes, ascensiones rectas, y declinaciones.

Exâmina despues el tiempo y su medida, y aquí explica: 1.º el fundamento de esta medida: 2.º el tiempo astronómico y civil: 3º la desigualdad de los dias solares, y sus causas. De aquí deduce el tiempo medio y la equacion del tiempo, sus diferencias, y límites. Y finalmente distingue el tiempo y las horas del primer movil. Pasa despues

pues al método de observar el tiempo verdadero, y explica el de las alturas correspondientes, despues de haber dado el modo de trazar la meridiana. En el método de las alturas se extiende á su correccion, y da las fórmulas con varias reflexîones y advertencias, y concluye con el de hallar la hora verdadera de una observacion, por la que se calculó correspondiente al pasage por el meridiano. Todo esto está muy claro y metódico, y con la misma claridad está explicado el modo de observar la ascension recta, y la declinacion de los astros, y sus varios usos.

Supone despues el observador en el centro de la Tierra, y considera las apariencias que resultarian de esta posicion: y aquí distingue las latitudes y longitudes heliocéntricas de los Planetas: las inclinaciones de sus orbitas, y reduccion á la eclíptica: las paralaxes de longitud y latitud, y la del orbe anuo: las apariencias que nacen del movimiento anual de la Tierra: y distingue los movimientos directo, retrogrado y estacionario. Sigue con la paralaxe diurna, establece sus fundamentos, y da las fórmulas para la horizontal y la de altura, y el método de determinar la horizontal de los astros.

Pasa de aquí al otro principio de ilusion, que es la refraccion, sus leyes, y su combinacion con la paralaxe, todo muy claro. El método de observar la refraccion por la comparacion de la altura verdadera (calculada por las correspondientes, y ángulos horarios de un astro) con la observada, y el de las alturas aparentes del polo y equador con la altura meridiana de una estrella próxîma al zenit,

que

que son, ó se hallan, el primero en Mr. La Lande, y el segundo en La Caille. Explica despues el principio que da la regla de Bradley para la refraccion, y la establece. Hace mencion de las variaciones accidentales de la refraccion, y sus causas. Manifiesta el uso del Termómetro y Barómetro para determinarlas, segun las hipotesis ó experiencias de varios Físicos, y reducirlas á un mismo temperamento. Concluye con la explicacion de algunos fenómenos que penden de la refraccion, como la figura oval de los discos del Sol y la Luna en el horizonte, el crepúsculo &c.

Sentados estos principios, establece la teoría del movimiento aparente del Sol, para determinar despues el de los Planetas, refiriéndolo á la eclíptica. Empieza dando con un exemplo el modo de hallar por observacion la revolucion anua del Sol. Hace ver las diferencias que se observan en este período, segun los tiempos en que se hacen las observaciones, y las que resultan en el movimiento del apogéo. Señala las épocas mas favorables para hacerlas, y manifiesta el modo con que se han de hacer con otro exemplo. Determina la revolucion trópica ó año solar, y pone las que han dado diferentes Astrónomos. Da la revolucion anomalística, y de la comparacion de la trópica con la sideral deduce la precesion de los equinoccios. Con estos principios enseña el modo de determinar los elementos de la orbita solar, el pasage por el apogéo, la máxîma equacion del centro, y la excentricidad, con las conseqüencias que de estos elementos se deducen.

Establecida esta teoría como basa, procede al movimiento de los Planetas referidos á la eclíptica, y enseña á determinar sus latitudes y longitudes geocéntricas y heliocéntricas, sus distancias al Sol, é inclinaciones de sus orbitas, la figura y diámetros de los mismos Planetas. En quanto á la figura arguye por las observaciones, y por la analogía el aplanamiento de dichos cuerpos procedente de la rotacion, y concluye con la teoría de los diámetros aparentes, combinada con la de sus paralaxes, respecto á sus diferentes distancias y alturas.

De aquí toma motivo para tratar mas en particular de la figura de la Tierra, en quanto se puede colegir de los principios de la gravitacion, y de las observaciones. Explica primero el fundamento por donde de la diferencia de los grados, averiguada por las observaciones, se debia inferir la de las figuras. Explica despues los efectos de las fuerzas centrales, que, combinadas con las leyes de los péndulos, debian dar tambien la figura de la Tierra. Todo esto está deducido con claridad de principios simples y elementares: y despues de haber dado una idea de las observaciones hechas en Quito y la Laponia, resuelve, conforme á Mr. Letherland, por un método elegante, el problema de hallar por la medida de dos grados del meridiano terrestre (supuesto elíptico) las dimensiones de la elipse. Pero como esta y otras semejantes soluciones del mismo problema suponen ya determinada la naturaleza de la curva, y el sólido generado, y esta es justamente la misma qüestion, hace ver (indicando los caminos que algunos geómetras han

to-

tomado para resolverla, y á vista de las dificultades que se hallan) la incertidumbre que hay todavía en esto, aunque haya fundamento para creer que es un eferoide á corta diferencia elíptico. Esto es en quanto á los obstáculos que ofrece la teoría. Recurriendo á la experiencia y á las medidas, se hallan no menores dificultades por la duda de que la diferente densidad interior del globo, ó la atraccion y proxîmidad de las montañas alteren los aplomos. Termina esta materia con señalar los límites de nuestra incertidumbre, esto es, lo que hasta hoy tenemos cierto, y lo que nos queda dudoso.

De los Planetas principales viene á tratar de los satélites, y en particular de la Luna. Describe: 1.º sus fases, sus revoluciones trópica y sinódica, los movimientos de su apogeo y nodos: 2.º sus desigualdades de equacion del centro, de eveccion, variacion, y equacion anual: cuyas causas indica conforme á las explicaciones de los Sres. La Caille y La Lande: 3.º la equacion secular, de que da una idea: la variacion de la inclinacion de su orbita respecto á la eclíptica: sus distancias á la tierra: sus diámetros; y señala la causa del constante aspecto de su disco respecto á nosotros, y su libracion.

Pasa de aquí á la explicacion de los eclipses, su formacion y causas. El modo de hacer la prediccion de los de Luna por el período llamado *Saros*. Indica el método de determinar con precision un eclipse venidero, empleando los movimientos de Sol y Luna. Distingue los parciales y totales, los centrales y los anulares, con otras circunstancias de los eclipses. Pero de todo esto no hace sino dar definiciones claras.

Aplicando la Astronomía á la práctica, hace ver el uso de las observaciones para fixar la posicion de los lugares por su longitud y latitud. Para determinar esta, da dos métodos. El primero por una estrella que no se oculte en el horizonte. El segundo por la altura meridiana de un astro qualquiera. Para la longitud reduce los principales á la observacion de una señal ó fenómeno instantáneo, visto desde diversos lugares, esto es, á los eclipses de Sol y Luna, los de los satélites de Júpiter, y ocultaciones de las estrellas por la Luna. Pone dos exemplos, uno de eclipse de Luna, y otro de un satélite de Júpiter, tomados de las Transacciones inglesas. Finalmente indica el modo práctico de observar un eclipse de satélite, y hace algunas advertencias oportunas para los poco versados. Entre todos los métodos prefiere los de los eclipses solares y ocultaciones de las estrellas por la Luna, por dar momentos mas precisos.

Trata finalmente de los movimientos que se observan en las estrellas. La precesion, la aberracion y nutacion de Bradley, que explica siguiendo á La Lande. Deduce su inmensa distancia, y concluye con apuntar el movimiento peculiar observado en algunas, y el fenómeno del centelleo.

Concluida la teoría astronómica, que se ha propuesto, como conveniente á la Navegacion, trata algunas otras materias como por via de apéndices. Tales son el método de las interpolaciones, las analogías diferenciales, algunas fórmumulas trigonométricas, y el conocimiento práctico de los instrumentos. El método de las interpolaciones lo trata ciñéndose, como hace tambien Mr. La Lande, al caso de las segundas diferencias. Halla para él una fórmula simple, y deduce la regla que aplica á un exemplo de la Luna. En quanto al Observatorio da una descripcion breve y sencilla de los instrumentos mas comunes, y su uso. Algo mas se detiene en los principios ópticos de los anteojos. Los que describe son el péndulo, los anteojos, las máquinas paralática y equatorial, el micrómetro, heliómetro, y los retículos, el quarto de círculo mural, el instrumento de pasages, el sector, todos brevemente: en el quarto de círculo movible se dilata algo mas describiendo los remitidos por el Sr. Magallanes.

PRINCIPIOS DE CRONOLOGIA.

Empieza por la historia del origen y variaciones del Calendario, y pasando por la correccion juliana, y establecimiento del bisiesto al Calendario, y correccion gregoriana, manifiesta por menor en lo que consiste esta correccion, los paises que la adoptáron, y los que hoy siguen el nuevo y antiguo estilo.

Explica despues en particular la letra dominical, el cyclo solar, el modo de determinarlo, y formar tablas para cada siglo. Pasa de aquí al cyclo lunar, y número de oro, su origen y etimología, y la regla con que se determina. Explica las epactas; y aunque no extiende las series de ellas, da una regla particular para hallarlas en este siglo

y

y el siguiente, y el modo de deducir por ellas los novilunios y plenilunios. Finalmente explica lo que son las épocas en la Cronología, y da noticia de las principales. Estos principios son breves y muy claros.

LIBRO II.

NAVEGACION.

El tomo y libro segundo contiene la Navegacion teórica, sin que esté omitido punto alguno importante de ella, y los mas tratados con mucha extension. Empieza por las Cartas; y habiendo dado en el libro primero los fundamentos de las geográficas, explica primero la construccion de las planas, sirviéndose para determinar las longitudes del paralelo medio. En las reducidas, para fundar sus verdaderos principios, demuestra algunos teoremas de la esfera, de los quales se deducen las tablas comunes de latitudes crecientes, ó partes meridionales, segun el método de Wright, y despues describe el mecanismo de la construccion de estas Cartas.

Explica despues (conforme á los principios del Doctor Halley) otro segundo método, fundado en la analogía que tienen los logarithmos con las tangentes de los semi-complementos de las latitudes. Demuestra las propiedades de la curva loxôdrómica, que es una espiral logarithmética. Y supuestos los logarithmos hiperbólicos, y el módulo la unidad, que corresponde á la loxôdromía, ó curva, que se describe por el rumbo constante de 45°, hace ver, que las ordenadas de esta espiral son iguales á las tangentes de de los semi-complementos de las latitudes: y las abscisas, ó arcos correspondientes del círculo de proyeccion son los logarithmos de las co-tangentes de dichos semi-complementos, y sus diferencias iguales á las diferencias de longitud.

Pero como esta teoría supone esférica la Tierra, que es ó se acerca mucho á un elipsoide, para tener la mayor exâctitud posible era preciso reducir las posiciones relativas del globo á las del elipsoide. Para lo qual se sirve de la solucion dada por Mac-Laurin en su *Tratado de las Fluxiones*, Tomo II, núm. 895 y 896, la misma de que se sirvió el Exc.^{mo} Sr. D. Jorge Juan, y deduce la regla para hallar las partes meridionales para el elipsoide por las que están calculadas para la esfera.

De la Aguja.

Pasa despues á tratar de los instrumentos que sirven para determinar los elementos ó datos necesarios para resolver los problemas comunes de Navegacion, y empieza por la aguja, que explica copiosamente: describiendo primero el imán, y sus propiedades atractiva y directiva, su inclinacion y declinacion, y la de comunicar estas mismas al hierro y materias de su especie: los medios de averiguar estas propiedades, y hacer experimentos con esta piedra, exâminar sus fuerzas, aumentarlas, armar los imanes naturales, y hacer los artificiales mas activos que aquellos.

Con estos fundamentos entra en la composicion de la agu-

aguja: y exâmina primero la materia, y despues la figura de las planchuelas: el modo de tocarlas, y exâminarlas despues: en cuyas maniobras se extiende, descendiendo al por menor de todas las operaciones: refiere muchas y muy útiles experiencias, y hace ver la preferencia que merecen los imanes artificiales á los naturales para comunicar el magnetismo. No se dilata ménos en la suspension de la planchuela, sobre lo qual expone: 1.º las precauciones que se deben tomar, así para no impedir su movilidad, como para corregir la demasiada: 2.º las verificaciones que deben hacerse para asegurarse que el ángulo que la aguja señala es el verdadero ángulo magnético, y la línea que lo indica un radio del círculo, en cuyo centro esté el exe del movimiento. De aquí procede á las demas piezas, posicion del estilo, modo de suspender el mortero y su materia, la rosa con sus divisiones, y evacua completamente todos estos puntos.

Trata luego de los singulares fenómenos de la inclinacion y declinacion, ó variacion. Explica el primero, y pone las reglas que resultan de la Memoria de Daniel Bernoulli (premiada por la Academia) sobre este asunto: añade el modo de destruir la inclinacion en las agujas marítimas, con otras noticias curiosas y útiles para los progresos de la Física. En la variacion, despues de explicarla en general, da la historia de las curvas magnéticas desde Halley en adelante. De la irregularidad de este fenómeno arguye la indispensable necesidad de recurrir en la mar á la observacion de los astros para determinarlo. Y en conse-

qüen-

qüencia explica las marcaciones, y las agujas que sirven para esto, con advertencias oportunas para su exâctitud y perfeccion. Apunta los inconvenientes que tienen las marcaciones del azimut, segun demostró Bouguer en una Memoria premiada: y con Mr. Fleurieux se inclina á creer que esta operacion de ordinario no merece confianza en la mar. Observa los errores que producen las pínulas movibles, atendido el efecto de la suspension ordinaria que llaman de Cardáno, y de todo deduce algunas reglas que estima convenientes para evitarlos, y para reunir en lo posible las buenas propiedades de una aguja.

Prosigue con su colocacion en la bitácora, el cuidado y verificaciones que esto pide. Contradice la práctica de poner dos agujas en la misma bitácora, apoyado en las experiencias de Mr. d'Aprés, y en las de Mr. Blondeau, nombrado para este exâmen por la Academia de Marina, y opina para mayor seguridad se ponga una en la bitácora, y otra en el alcázar á la vista del Oficial de guardia. Con este motivo hace juiciosas reflexîones sobre el inconveniente de llevar las agujas á la regala del costado, y sobre la materia de que debieran ser los cañones del alcázar, y los que están próxîmos á la bitácora.

No contento el Autor con este detalle tan menudo, hace algunas advertencias para el manejo de las agujas, así por la impericia de los Pilotos, como por las muchas causas accidentales, que alteran, y aun destruyen el magnetismo, de que produce varias experiencias. Por tanto opina se lleven á bordo barretas magnéticas, y que se sepan hacer imanes artificiales sin el auxîlio de los naturales: y da una buena idea de este procedimiento, extractando el de Mr. Canton de las Transacciones de 1751. Concluye esta extendida materia con indicar solamente la causa probable del magnetismo, y citar las tres Memorias premiadas de Eulero, Dutour, y los dos Juan y Daniel Bernoullis. En todos estos puntos, con especialidad en los que pertenecen á la construccion y manejo de las agujas, ha hecho grande uso de la Memoria coronada de Mr. Van-Swinder, de las de Mr. Blondeau, y otras de los mejores Físicos. Finalmente enseña á corregir los rumbos aparentes de la aguja y los abatimientos por las reglas comunes, y pasa á medir las distancias por la corredera.

De la Corredera.

Describe la ordinaria menudamente, y el péndulo con que se ha de verificar en tierra la medida de la ampolleta. En las divisiones del cordel adopta la que resulta del grado terrestre, esto es, de $47\frac{1}{2}$ pies de Paris. Y como esta medida y la de la ampolleta se descomponen con el uso y la variedad del temperamento, calcula unas fórmulas breves para la correccion que conviene en los tres casos, á saber: quando falta la exâctitud por la division del cordel, ó por la ampolleta, ó por ambas á un tiempo.

Inquiriendo despues en la causa principal de los grandes errores de la corredera, que son las corrientes, adopta para remediarlos en lo posible, las reflexîones y corredera propuesta por Bouguer en 1753 (Tratado de Navegacion)

cion), que á pesar de su probabilidad y bella apariencia no ha podido echar hasta ahora de su antigua posesion á la ordinaria. El Autor describe latamente esta corredera, y el modo de determinar por ella el andar de la nave, el de la corriente, y su direccion. Pero como toda esta teoría pende de la suposicion que el cuerpo inferior de la corredera quede en agua parada, y esto es justamente lo que se duda, y puede padecer infinitas variedades; el Autor pretende que el mismo instrumento puede dar la verificacion y solucion de la duda por medio de repetidas comparaciones de sus resultados con los de la corredera ordinaria, hechas en diferentes profundidades: pues si dos operaciones sucesivas en diferente profundidad dan el mismo resultado, es señal clara de que el cuerpo inferior está en agua parada, que no influye en su movimiento. Por todo esto parece que el Autor la prefiere, y se apoya últimamente en las experiencias del Lord Mulgrave en su viage al Norte.

Principios fundamentales de la Navegacion.

Explicadas las Cartas, y descritos estos dos principales instrumentos, entra en los principios teoricos y fundamentales del Pilotage; y como todo pende de la naturaleza de la curva loxôdrómica, ó línea del rumbo, halla la equacion de esta curva en la esfera por el ángulo constante que forma con el meridiano, y la propiedad del círculo: que integrada determina la relacion entre el ángulo del rumbo, la longitud y latitud de cada uno de los puntos de la loxôdromia. Desciende de aquí á determinar por principios mas llanos y elementares la relacion entre la distancia andada, el camino este-oeste ó apartamiento de meridiano, y el camino norte-sur, ó diferencia en latitud, esto es, por la resolucion del triángulo rectángulo, conocida de todos los Pilotos. Hace ver la necesidad de reducir el apartamiento de meridiano á diferencia de longitud, y enseña el modo de buscar directa y exâctamente esta diferencia por medio de las partes meridionales sin depender del dicho apartamiento, y despues enseña á determinarla introduciendo tambien este elemento.

Como sin embargo de la exâctitud de este método, y su facilidad, si se usa de tablas, los Pilotos recurren de ordinario al del paralelo medio, explica tambien este: hace ver en que se funda su error, y los límites dentro de los quales se puede usar sin inconveniente. Pero para dar á este punto toda la luz necesaria busca directamente el valor de los errores que proceden del uso del paralelo medio, y resuelve este problema siguiendo á Mr. Bezout en su Tratado de Navegacion, Seccion IV.

Sentados estos principios generales, antes de proceder á la resolucion de los problemas del Pilotage, que dan la posicion ó el punto de la nave, enseña á determinar el de salida á la vista de las costas: 1.° por dos marcaciones contemporáneas de dos puntos conocidos: 2.° por Trigonometría, supuesto que sea conocida la posicion de dichos dos puntos: y enseña tambien á valuar los errores que en esto se pueden cometer, ya sea para corregirlos, ya para deducir las situaciones que mas convengan, para dis-

disminuirlos todo lo posible. Pasa adelante, y suponiendo faltar dos puntos conocidos en la costa, ó no tener estos las situaciones convenientes, explica el modo de situar el lugar de la nave por dos marcaciones sucesivas, y la distancia andada entre ellas determinada del mejor modo posible: ó por una sola marcacion, quando se conoce exâctamente ó la longitud ó la latitud de la nave, sin depender de la distancia: ó por esta y una sola marcacion, aunque se ignoren la latitud y longitud de la nave, y calcula los errores de estos métodos: que es á lo que se reducen los casos generales de este problema. Explica tambien el modo de resolverlo por las Cartas. Concluye con algunos métodos, que pueden servir en muchos casos para estimar las distancias sin notable error. Tales son las tablas que están calculadas para las distancias á que se hallan las alturas que se pierden de vista: las que dan las distancias, á que están los buques de dimensiones conocidas, por la parte de ellos que se descubre: y finalmente la estima que se puede hacer con mucha exâctitud por la velocidad del sonido, sobre la qual da los resultados de las experiencias hechas por los Físicos.

Resolucion de los problemas generales de la Navegacion.

Manifiesta el modo de resolver los quatro principales, tanto por las Cartas plana y reducida, como por el cálculo de las partes meridionales, siguiendo el método comun. Y despues de haber demostrado que la diferencia en longitud es siempre igual á la diferencia en latitud, tomada en partes meridionales, multiplicada por la tangente del

rum-

rumbo, vuelve á tomar los principios del Dr. Halley, que explicó al principio; y no siendo, conforme á ellos, la diferencia en longitud otra cosa que la de los logarithmos hiperbólicos de las co-tangentes de los semi-complementos de las latitudes, partida por la fraccion decimal que allí demostró, ó bien (reduciendo los logarithmos hiperbólicos á tabulares) la diferencia de estos últimos, partida por la fraccion decimal correspondiente; hace ver que la operacion de hallar la diferencia de longitud se reduce á hallar la de dichos logarithmos, partirla por la fraccion decimal correspondiente, y multiplicar este resultado por la tangente del ángulo del rumbo.

Resuelve despues los mismos problemas por el método usual á los Pilotos del paralelo medio, y aplica las analogías comunes. Pasa de aquí á las derrotas compuestas, cuya práctica manifiesta en dos exemplos ó tablas, calculadas la una por las partes meridionales, y la otra por el paralelo medio, y hace ver la poca exâctitud de este segundo.

Concluye esta primera parte del Tratado, manifestando las correcciones que deben aplicarse á los resultados de los métodos antecedentes, por razon del aplanamiento de la Tierra, y busca, siguiendo á Mr. Bezout, la correccion conveniente á la latitud y longitud calculadas para la esfera, y da una tabla de estas correcciones.

PARTE SEGUNDA.

NAVEGACION ASTRONOMICA.

Dados los elementos del Pilotage, que entran en el cóm-

cómputo de la estima, entra á dar noticia de los que se toman de las observaciones y cálculos astronómicos, y en la introduccion hace ver la necesidad de llenar con los métodos antes explicados los vacíos que resultan en estos por la imposibilidad de observar.

De los instrumentos de reflexîon.

Empieza por estos instrumentos, los únicos que tienen buen uso en la mar. Da sucintamente la historia de su invencion, y de las disputas ocurridas sobre ella. Explica despues los principios ópticos fundamentales en que estriva la construccion, y el uso de todos ellos. Conforme á estos principios describe menudamente el Octante ordinario: señala el lugar, uso y posicion de todas sus piezas, calidades que han de tener, la materia de cada una, y precauciones para su conservacion: las divisiones del arco, y las del Nonio ó Vernier: el modo de asegurar la posicion de los espejos, y exâminarlos: lo que se debe practicar quando están guarnecidos de anteojo, y sus aberturas: las pínulas, tubos, y quanto pertenece á los exes de vision, segun estén construidos. En cada una de las piezas describe menudamente las diferentes prácticas que usan los buenos artistas, y hace reflexîones oportunas para su perfeccion.

Pasa de aquí á las rectificaciones de este instrumento, que explica con la mayor puntualidad, sin dexar parte alguna, ni pieza que no enseñe el modo de verificarla, y corregirla en tierra, y lo que tambien puede hacerse en la mar. El modo de averiguar la cantidad del error que produducen estos defectos quando son constantes, y proceden de la construccion, para tener cuenta de ellos en los cálculos y las observaciones. En quanto al modo de hacer las observaciones, enseña la rectificacion preparatoria que debe hacerse antes de observar, y tambien despues para determinar el error del *índice*: y la de los espejos, en que describe los medios imaginados últimamente por los mejores artistas ingleses.

Conocido el instrumento, y dispuesto para la observacion, desciende con igual prolixidad á las circunstancias mas menudas de ella, previniendo todo lo que es esencial en su manejo para evitar los errores, en que produce algunas especies nuevas, y hasta ahora poco atendidas, como es la del error que puede producir la elasticidad y flexîbilidad de la alidada, complicadas con la friccion del exe sobre que gira.

Termina la materia de los Quadrantes de reflexîon, insinuando el modo de suplir el horizonte natural con el artificial de un fluido de nivel, que por consiguiente no sirve en la mar: y hace mencion de algunas máquinas ó invenciones para suplir esta falta, remitiéndose á algunas Memorias sobre este punto coronadas por la Academia.

De los Octantes, Sextantes &c., explicados hasta aquí, pasa á los Círculos de reflexîon. Describe el del Sr. Magallanes, y apunta las diferencias que tiene el de Mr. Bordá. Hace ver las que hay en la práctica de las observaciones hechas con este instrumento respecto á los demas de reflexîon, aunque los principios teóricos y generales sean comumunes. Deduce de aquí, y particulariza sus ventajas, y la preferencia que merece sobre los otros, y la apoya con el testimonio de los Oficiales de la Fragata Santa María de la Cabeza en su viage al Estrecho de Magallanes. Concluye esta materia dando una idea de algunos adelantamientos hechos en este punto por el citado Magallanes, y por los artistas Gregory y Wright.

Todo este asunto de los instrumentos no solo está tratado extensa y cuidadosamente, sino que está tomado principalmente de los excelentes tratados de Magallanes, y otras memorias antiguas y recientes de las Transacciones de Ludlam, Maskeline, y de los mejores artistas: y es una de las partes mas recomendables de este Tratado.

De las correcciones de las alturas tomadas con los instrumentos de reflexíon.

Aplica las quatro principales: depresion del horizonte, semidiámetro, refraccion y paralaxe. En la primera pretende que no se use de tablas, porque alterando la refraccion el ángulo, aunque en ellas se haga entrar este elemento, como hizo Mr. Bouguer, las variaciones de la refraccion son grandes, y hacen que se deba preferir el hallar la depresion para el instante preciso, y da el método para ello. En la correccion del semidiámetro habla de la irradiacion, que siempre aumenta el diámetro verdadero, y en los astros muy brillantes como el Sol ha parecido á algunos poder ocasionar errores hasta de quatro á cinco minutos. El Autor duda de esto fundado en su propia experiencia, y en otros dictámenes que refiere. Sin embargo da el modo de aplicar esta correccion si se quisiere usar de ella.

Determinacion de la variacion de la aguja.

Todas las operaciones astronómicas, de que hace uso en la Navegacion, se reducen á las siguientes. La determinacion de la variacion de la aguja, para rectificar la estima: algunos métodos de hallar la latitud: otros para la hora del Navio: y el problema de las longitudes, primero por los reloxes marinos, y despues por las distancias lunares al Sol y á las estrellas.

La variacion de la aguja la determina primero por la amplitud verdadera comparada con la magnética, ó por el azimut, para lo qual da los métodos y las fórmulas, y señala las precauciones y correcciones con que debe hacerse. Para corregir los errores que se pueden temer en los datos con que se calcule el azimut, y en los de la marcacion, da varias reglas deducidas de las analogías diferenciales, que manifiestan la razon en que están aquellos errores, y de ellas se coligen las circunstancias favorables para evitarlos. Ultimamente apunta el método de las alturas iguales, que no adopta sino en ciertos casos.

Hallar la latitud.

Prefiere por punto general el método de la altura meridiana, como mas directo, y lo prefiere con exclusion de los demas, como mas sujetos á error, aunque no por esto se deben abandonar del todo. Sin embargo esta exclusiva no com-

comprehende al famoso método de Dowes, con el qual, dadas dos alturas de Sol, el intervalo entre los instantes de las observaciones con la latitud de estima, se halla la latitud. Da la solucion de este problema, y para su aplicacion á la práctica el Autor en la Coleccion de tablas que se propone publicar, ofrece dar las reglas prácticas de su uso, modificaciones que pide, y circunstancias ventajosas. Sin embargo hace aquí algunas reflexîones generales que muestran el uso del método.

Otro problema propone para hallar la latitud, dadas las alturas de dos astros conocidos, y el intervalo entre las observaciones. Resolviendo este problema en toda su generalidad, halla primero una fórmula, que le es de grande uso, y es la primera de la Astronomía náutica de Mr. Maupertuis, que expresa generalmente la relacion entre la altura de polo, la declinacion de un astro, su altura y su ángulo horario. Prosigue resolviéndolo, y halla una equacion que contiene como casos particulares algunos de los que el dicho Maupertuis ha tratado separadamente en la Astronomía náutica. El Autor exâmina algunos de ellos: 1.º en que se dan dos alturas del mismo astro: 2.º en que el astro estuviese en el horizonte, que es el de hallar la latitud por la duracion del dia si el astro es el Sol, y es el problema 22 de la Astronomía náutica: 3.º dadas tres alturas de qualquier astro con los intervalos de tiempo que las dividen, hallar la latitud. No me detengo en la análisis de estos casos por la prolixidad que seria necesaria: basta decir que están tratados copiosa y profundamente, hasta deducir del mismo cálculo aplicando el diferencial los errores que resultarán en la latitud por los que se cometan en los elementos. El Autor reconoce que la utilidad de este problema es corta ó ninguna, pero lo trata tan extensamente para exemplo del método, y ventajas con que se aplica el cálculo á la Astronomía y Navegacion.

Hallar la hora del Navío.

Busca la hora por una sola altura de qualquier astro, cuya declinacion sea conocida, siendo conocida tambien la latitud del lugar de la observacion, y explica las circunstancias ventajosas para ella. Resuelve despues algunos problemas para hallar la hora, ó sin conocer la latitud dadas las alturas de dos astros conocidos, y el tiempo entre las observaciones, ó conociendo la latitud por dos astros observados en el mismo instante, y en el mismo vertical, cuyas declinaciones y ascensiones rectas sean dadas.

Problema de la longitud.

Empieza por las nociones generales, y da noticia de los diferentes medios que se han aplicado. Distingue las dificultades que diferencian este problema en la mar y en tierra, y forma la historia de los estímulos y premios ofrecidos á su resolucion en la mar, y de las tentativas hechas á este fin. Hace ver que la gran ventaja de los reloxes marinos no se puede exîmir del inconveniente que los sujeta al efecto de los accidentes extraños: que su uso exîge mucha prudencia y discernimiento, que nunca podrá ser

muy

muy comun, y por consiguiente que nunca deberá mirarse ni emplearse como medio único, y la seguridad exîge que con los reloxes se usen los métodos astronómicos. De estos, los mas útiles y generales son los lunares. Con este motivo hace mencion de los trabajos gloriosos de los Astrónomos y Geómetras que los han promovido, de las tablas lunares de Mayer, de las de Masson llevadas á mayor precision, y publicadas en las Efemérides de 1789: con cuyos auxîlios, y los que subministran el Almanaque náutico inglés, y el Conocimiento de tiempos de la Academia, queda el problema de la longitud reducido á dos puntos, á saber: corregir las distancias lunares, y determinar la hora.

De los reloxes marinos.

Todo lo reduce á dos puntos principales: la exâcta averiguacion del estado y movimiento del relox respecto á un meridiano conocido, y la aplicacion práctica de este principio para hallar la longitud. En primer lugar apunta algunas precauciones que se deben tener en el manejo de estas máquinas, y exâmen que se debe hacer de las irregularidades á que por el calor y frio están sujetas. Para manifestar despues el modo de arreglarlos en el Puerto, y usarlos á bordo, comprehendiendo todas las circunstancias, toma juiciosamente un exemplo, sacado de los diarios de la campaña hecha en 1785 por el Brigadier D. Vicente Tofiño, y va siguiendo todas las operaciones y cálculos que necesita el uso de esta máquina.

1.° Su comparacion con el Sol por alturas correspondiendientes para conocer su marcha respecto al tiempo medio: 2.° su cotejo con el péndulo del Observatorio, operacion delicada que describe menudamente. Y como el método de las alturas iguales, aunque el mas exâcto no es único, entre varios que se le pueden substituir señala tres: el de las alturas absolutas, la observacion de los pasages del Sol por el meridiano, y el instante en que una estrella aparece ó coincide con un objeto ó término fixo. Manifiesta despues el modo de proceder á la comparacion final del relox al tiempo medio, hallar las diferencias que resultan del temperamento, y separarlas de las que proceden del atraso ó adelanto diario del relox respecto al tiempo medio, que son los elementos que dan el movimiento real de la máquina. Con este motivo se extiende algo en los efectos del temperamento, y su correccion, y últimamente por medio de una tabla semejante á la del exemplo enseña á hallar la correccion total que debe aplicarse á la hora que indica el relox para tener la verdadera que se cuenta en el meridiano de comparacion en qualquier instante dado, y hallada la del Navio determinar la longitud.

Aunque el método del exemplo que sigue sea el mas exâcto, no es indispensable, y enseña otro mas sencillo comparando el relox en tierra inmediatamente al Sol sin el péndulo, y señala las cautelas con que se ha de hacer. Al Quarto de círculo para las alturas substituye tambien el Quadrante de reflexîon; y como este instrumento con un relox de faltriquera es el medio á que está reducido el comun de los navegadores, explica su manejo, y modo de averiguar

su

su marcha, y verificarla en el discurso de su viage por confrontacion con puntos de longitud conocida. Finalmente apunta la utilidad de un segundo relox marino, y concluye con algunas reflexîones útiles sobre el método de discernir las correcciones parciales, que corresponden á instantes que median entre dos tiempos conocidos, quando este método se aplica en la Geografia á determinar las longitudes intermedias entre las de dos puntos conocidos.

Método de las distancias lunares.

Primeramente da la idea general de este método, el mas directo y el mejor de los que de este género se pueden proponer. Explica despues sus operaciones: y como las efemérides dan ya calculadas las distancias lunares referidas á un meridiano conocido, las demas las reduce: 1.° á observar la distancia de la Luna al Sol ó á una estrella zodiacal convenientemente situada, y las alturas de los dos astros sobre el horizonte, y con estos datos hallar la distancia verdadera entre ellos libre de paralaxe y refraccion, que busca por un método trigonométrico: 2.° por la longitud de estima halla próxîmamente la hora de la observacion en el meridiano de las tablas, y como estas no dan las distancias lunares para cada instante, enseña á hallar la hora verdadera para dicho meridiano correspondiente á la distancia corregida por la variacion de las dos próxîmas que la comprehenden, y el tiempo intermedio. Con que solo resta hallar la hora verdadera de la observacion en el Navio, para lo qual prefiere el método de la altura absoluta de un astro.

Pre-

Previene lo que se ha de hacer quando las observaciones no son contemporáneas, y quando lo son: hace ver la importancia de multiplicarlas dentro de un breve espacio de tiempo, para deducir en cada una la media que resulta, y es mas segura que una observacion única.

Otro método propone tambien, y consiste en esto. Con la distancia corregida, y la longitud de la Luna, como se halla en el Almanaque náutico, ó en el Conocimiento de tiempos, supuesta conocida tambien la longitud del Sol ó de la estrella, se halla á bordo el lugar de la Luna, y se compara al de las efemérides, y se prosigue como antes á la averiguacion de la hora del meridiano de comparacion, y la del Navio. Este método es util usando el Megámetro de Mr. Charnieres, porque mide distancias cortas que no se hallan calculadas en los Almanaques.

Como la distancia corregida es el principal elemento de este cálculo, al método que da inmediatamente la Trigonometría esférica, añade otros cinco ménos directos, pero mas cómodos, y pone la demostracion de cada uno de ellos. El 1.° es de Mr. Bordá, que ademas de su simplicidad tiene en la práctica la utilidad de no pedir mas tablas, sobre el Almanaque ó Conocimiento de tiempos, que las comunes de logarithmos. El 2.° viene á ser el de Dunthorne, y se facilita con las diferencias logarithméticas que se hallan en las *Requisite tables* de 1767 y 1781. El 3.° que aunque de aproxîmacion es muy exâcto, y pertenece á Mr. Maskelme, es muy expedito con el auxîlio de tres tablas que se hallan en el Alma-

na-

naque náutico de 1772 y 1781. El 4.º es de Mr. Lyons, y por estar reducido á tablas calculadas por el mismo Lyons, Parkinson el mozo, y Williams, es el mas facil en la práctica quando estas se tienen. El 5.º finalmente se halla en las *Requisite tables* de 1781. Las tablas que piden para su expedito uso los métodos 2.º, 3.º y 5.º las ofrece el Autor en su Coleccion.

La práctica de estos cálculos de longitud las hace mas visibles con dos exemplos, el uno calculado segun el método trigonométrico que adopta y prefiere, y el otro segun el de Mr. Bordá. A todo esto añade el de hallar la longitud por las alturas de la Luna, y concluye con algunas reflexîones sobre el uso de las variaciones de la aguja para hallar la longitud.

De las correcciones que se deben hacer en la Navegacion, y del Diario.

Explica aquí: 1.º la correccion del relox de arena que se hace al medio dia, las atenciones con que se debe hacer, y verificaciones con que se puede asegurar: 2.º la de la estima, en que adopta el pensamiento del Sr. D. Jorge Juan de corregir quando se pueda la latitud, y conservar el apartamiento de meridiano de estima. Para manifestar lo que es, y debe ser el diario, ademas de las advertencias generales, pone un exemplo muy circunstanciado tomado de Mr. Dalrimple.

PARTE TERCERA.

CONOCIMIENTOS INDEPENDIENTES

NECESARIOS AL PILOTO.

Mareas.

Primero da sus definiciones comunes, y despues explica menudamente los fenómenos, y los tres períodos de las mareas: el diario, ó fluxo y refluxo: el período mensual que trae las mareas variantes de las sizigias y quadraturas: y el anual, de quien penden las de los equinoccios y solsticios. Señala despues la causa física de las mareas, y hace ver la estrecha dependencia que tienen de los movimientos del Sol, y principalmente de la Luna; y aplicando las leyes de la atraccion, y sin salir de las ideas comunes, va dando razon por menor de los fenómenos: por qué debe haber todos los dias dos fluxos y refluxos, por qué la elevacion y descenso de las aguas ha de suceder á un mismo tiempo en los puntos opuestos del globo, por qué las mareas de las sizigias son mayores que las de las quadraturas; y á este tenor va haciendo ver todos los demas fenómenos, remitiéndose á la Memoria coronada de Mr. Bernoulli, y para el cómputo y determinacion de las horas de las mareas á la Astronomía de La Lande.

De los mismos principios deduce el movimiento que el mar tiene entre los trópicos del este al oeste, y que el movimiento diurno de la Tierra debe atrasar las mareas, y disminuir la elevacion de las aguas.

Hace la enumeracion de algunas causas particulares que ha-

hacen diferir la teoría de las observaciones prácticas, y la diferencia que debe haber en los mares libres, y los que están cortados, ó embarazados con islas, estrechos &c., tanto en la cantidad de las aguas que se elevan, como en los tiempos, y procura aplicar los principios generales á estas particulares diferencias.

Exâmina los fenómenos de las mareas respecto á las diversas latitudes, y no se acomoda á la opinion de que las mareas equinocciales sean las máxîmas en todo el globo, de suerte que formen una como excepcion á la ley newtoniana; y parece se inclina á creer, apoyado en Mr. La Lande, que las grandes mareas de los equinoccios que se observan en nuestras costas, proceden de los vientos occidentales, que reynan con freqüencia en Marzo y Setiembre.

Habla de las diferencias que se notan en las dos mareas consecutivas de un mismo dia, segun las latitudes, y las posiciones de los astros atrahentes hácia uno ú otro polo. Estas diferencias efectivamente no son tan grandes como debieran ser segun la teoría, y esto forma una dificultad á que han procurado dar salida los Sres. Bernoulli y de la Place.

Explicados los fenómenos, hace ver quanto pueden variar ademas de las causas antes asignadas, por la particular disposicion de las costas, y otros obstáculos locales, y como conocidas y combinadas estas circunstancias los mismos principios bastan para dar la razon, lo que muestra en un exemplo tomado de las Transacciones de 1684 de la extraordinaria marea de Tunquin y Puerto de Batsham,

 en

en que solo se observa un fluxo y refluxo en las 24 horas, y el de los mares cortos y separados, como el Mediterráneo y el Caspio, en que el efecto de las mareas debe ser por lo general insensible.

Para hallar la hora de la marea distingue entre tan varias circunstancias las que pueden sujetarse al cálculo, y las que solo pueden averiguarse por experiencias, porque proceden de la situacion, y causas locales. Las primeras están comprehendidas en las tablas de Mr. Bernoulli. Las segundas, como invariables, se pueden suponer que hacen constante el atraso de las mareas, y así observado en las sizigias se tendrá á corta diferencia en las otras posiciones de la Luna. Y aunque esto no es verdadero en rigor, sin embargo el atraso medio se conforma suficientemente con las observaciones.

Define despues *la hora ó establecimiento del Puerto*, y enseña á buscar la hora de la pleamar por el pasage de la Luna por el meridiano, y el error que puede caber en esta regla lo corrige por la tabla de Mr. Bernoulli, que ofrece dar entre las de su coleccion. Y quando no sea precisa mucha exàctitud enseña á hallar la hora por la regla ordinaria.

Corrientes.

Las divide en naturales, que proceden de alguna causa constante, como la corriente equinoccial: y en accidentales que vienen de causas variables, como vientos irregulares &c. En generales, y particulares. Señala las principales conocidas, y sus direcciones.

Apun-

Apunta la opinion del Dr. Halley sobre las corrientes baxas, que solo se observan en cierta profundidad: las de otros sabios, como D'Alembert, y Daniel Bernoulli sobre la naturaleza y causas de las corrientes, y la de Buffon sobre las irregulares que proceden de las desigualdades del fondo del mar, que modifican los efectos de las mareas y los vientos.

En quanto á la observacion de las corrientes en la mar, el Autor opina, segun los principios de Mr. Bernoulli, lo que ya habia insinuado tratando de la corredera, esto es, que las corrientes se extenderán rara vez hasta el fondo, y esto en todo caso sucederá en los mares poco profundos. Que las corrientes tampoco son iguales en toda la profundidad, y pasado cierto término las aguas inferiores están paradas. Con que se tiene ya un término de comparacion fixo á quien referir el movimiento de la corriente.

Insinúa despues las prácticas que siguen los Pilotos para averiguar las corrientes, así en la cercanía de las costas, como en alta mar, que tiene por insuficientes sin las muchas consideraciones geométricas que exîgen, para las quales remite á la Memoria de Mr. Bernoulli. El uso de un relox marino, y la comparacion de sus resultados con los de la estima, no lo tiene por bastante seguro, porque la aguja y corredera están sujetas á errores que no penden de las corrientes.

Vientos.

Los divide en permanentes como el viento oriental, que llaman Brisa: en reglados ó periódicos, como los Monzones en el mar Indico : en variables, como los que soplan de ordinario en nuestros climas: en generales, como el que en alta mar reyna entre los trópicos, que en las inmediaciones á las costas, y dentro de las tierras no es sensible por los obstáculos y modificaciones que padece : y finalmente en vientos particulares, donde los comprehende todos ménos el general del este.

Dice quan importante es el estudio meteorológico, y el de las observaciones de los anteriores viageros, hecho con la debida consideracion : y extracta algunos resultados de lo que han recogido Halley y Muschenbroek, que forman una parte de la historia de los vientos, y manifiestan bien quan necesaria le es al Piloto que ha de emprender navegaciones largas, y á climas distantes.

Explica despues la causa física de los vientos, segun el Dr. Halley, que la pone en la accion de los rayos del Sol en el ayre y el agua durante el continuo pasage de este astro sobre el Occéano, combinado con los efectos de la situacion de los terrenos y continentes próxîmos. Esta accion, que produce la rarefaccion en aquella parte de la atmósfera, sobre quien sucesiva y perpendicularmente van cayendo los rayos, perturba el equilibrio del ayre, y el que queda mas denso se ha de mover y empujar al mas raro. Con este principio se explican con felicidad los fenómenos: el viento perpetuo que reyna entre los trópicos del este al oeste; que este mismo debe inclinarse al norte en las regiones septentrionales, y al sur en las meridionales: las calmas que se experimentan enmedio del Atlántico: las mutaciones

ya

ya preparadas, ya repentinas que se observan de un punto del horizonte á su opuesto, y finalmente los Monzones. Sin embargo algunos célebres Físicos no se han contentado con el principio y explicacion de Halley, y han buscado otras causas: sobre lo qual el Autor remite á las Memorias de los Sres. D' Alembert, y Bernoulli sobre los vientos y las corrientes.

Sobre el modo de levantar las Cartas y Planos.

Supuesta la imposibilidad de situar todos los puntos por observaciones de longitud y latitud, hechas en ellos, y que en la práctica basta fixar los mas notables con la mayor exâctitud, y referirles despues todos los demas, hace ver los varios medios que pueden tomarse para determinar los puntos de una costa navegando á su vista, el uso que puede hacerse de los reloxes marinos, y de los métodos inversos de los que explicó tratando de situar la nave á la vista de las costas haciendo las operaciones, ó sucesivamente con un solo buque, ó simultáneas con dos situados en los extremos de la base. Substituye á las marcaciones de la aguja las medidas de los ángulos tomadas con el Quadrante de reflexîon. Para la determinacion de las alturas absolutas de los objetos de la costa insinúa el uso del Megámetro de Mr. Charnieres.

Situados los puntos importantes, refiere á ellos los demas por marcaciones, y desciende al por menor de las circunstancias que deben acompañar una Carta. Habla tambien del cuidado que se debe tener en las copias que se

gra-

graban, y se remite á lo que sobre esto dice Mr. Fleurieux en el Tomo I de su viage, y está copiado en la Encyclopedia metódica.

Pasa de aquí á los Planos hydrográficos, que manifiestan los Puertos y sus entradas, ó ciertos pedazos de costa, que importa conocer con particularidad. Insinúa brevemente el modo de levantarlos con el theodolito, ú otro instrumento de esta clase, segun las reglas comunes. A las medidas de los ángulos que da el instrumento substituye las marcaciones de la aguja, aunque no tan exâctas, quando no se puede otra cosa, y con especialidad para las sondas. Y señala las precauciones que se deben tomar en el caso de observar un objeto movible, como el bote que va sondando. Lo demas es semejante á los planos que se levantan en tierra.= Ferrol á 30 de Abril de 1787.= Cypriano Vimercati.

ADVERTENCIA.

Todo principiante, que haya estudiado la Aritmética, Geometría y ambas Trigonometrías, encontrará en este Tratado las materias de la ciencia del Piloto que puede entender fundamentalmente, y en las demás, podrá ceñirse á los enunciados ó resultados de las proposiciones; pues, con el fin de que cada uno sea el juez de su propio alcance en la eleccion de asuntos, ha parecido conveniente no auyentar la atencion con distinciones arbitrarias en el texto: aunque el todo esté compuesto, como para instruir al que haya ya adquirido una sólida instruccion de la Matemática pura sublime.

Para procurar contribuir á la utilidad de esta clase de lectores, ha sido preciso perder de vista á los que carecen absolutamente de principios. Y tanto para manifestar á estos la necesidad de la teórica, como para que los otros la exerciten, se han evitado, en quanto ha sido posible, los exemplos que suelen imitarse servilmente, y procurado establecer los principios fundamentales, que son los que siempre deben tenerse presentes, como el verdadero origen de las reglas.

Las citas que se refieren á alguna de las partes que tienen otra serie de párrafos, están indicadas con las letras iniciales de su título. Por exemplo: P. A. significa Principios de Astronomía.

INTRODUCCION.

La voz *Navegacion* se usa en nuestro idioma para significar dos ciencias diferentes, en quanto al número de asuntos que comprehenden. La mas general abraza toda la ciencia naval, esto es, toda la teórica de la construccion, manejo y direccion de las embarcaciones, y la otra es la parte de ésta que propiamente se llama *Pilotage*. En este sentido vamos á considerarla en el presente Tratado. Asi por *Navegacion* entenderémos solamente, la ciencia que enseña á averiguar todas las circunstancias del camino de la nave: esto es, su lugar á qualquier instante, y la direccion que debe seguir para pasar de un parage á otro. Atendiendo á los medios que pueden emplearse en esta averiguacion, resulta una division de la Navegacion en dos partes, que nombrarémos teórica, y práctica.

La Navegacion práctica se funda en la experiencia. El conocimiento de los cabos, montes, puertos, poblaciones, rios, baxos &c. de las tierras de una costa, con el de la profundidad y clase del fondo del mar que correspondan á aquellos puntos, se-

segun sus posiciones relativas, determinan el punto en que se halla la nave. Las combinaciones que pueden hacerse para deducirlo, no se limitan únicamente á las configuraciones de las costas y medida de la longitud, que es necesario dar á un cordel, para que tocando al fondo se le pegue una muestra de su especie: pueden entrar en ellas quantas circunstancias varíen de unos parages á otros. Así, el curso de los rios, color del agua, rapidéz y direccion de las corrientes, efectos de las mareas &c. son otros tantos elementos que pueden facilitar y extender las operaciones del Piloto práctico: sea usándolos, á falta de otros mas ciertos, sea comparándolos unos con otros, para verificar la exâctitud de los resultados.

La Navegacion práctica, como se ve, depende de las descripciones que se tengan de los parages por donde se navega. Al paso que las observaciones vayan aumentando el conocimiento de las costas y faxa de mar inmediata, la Navegacion práctica será mas exâcta; pero siempre quedará limitada á las cercanías de las tierras; pues, sin otros auxîlios, nunca se atreverá el Piloto á alejarse, no sea que, perdiendolas de vista, le falte aquel recurso, para saber donde se halla. La sonda podrá en algunos casos particulares suplir este defecto; pero ro como lo regular es que la haya igual en diversos parages de la misma costa, es ademas necesario, para no equivocarse las mas veces, tener, al mismo tiempo que el gobierno de la sonda, la vista de algun punto de tierra conocido.

Por una desgracia, consiguiente al orden general que se observa en todas las costas, estos dos datos casi nunca se reunen, sino á expensas de reducir la distancia en que podria adquirirse uno de ellos solo. Si las tierras de la orilla son muy elevadas, es preciso pegarse á ellas, para que la sonda alcance al fondo: y quando este se encuentra mas afuera, la costa no puede descubrirse sino por el mismo medio. Es, pues, indispensable comunmente la vista de las tierras, que se pierde á distancias poco considerables, para la Navegacion práctica; y aunque no lo fuese, siempre serían muy estrechos sus términos, porque en general están poco lejos de la orilla los que circunscriben el espacio de mar que puede sondarse por los métodos ordinarios.

Esta limitacion produce inconvenientes inevitables, porque nacen de la misma naturaleza del Pilotage práctico. Las cercanías de las costas son generalmente los parages del mar que mas abundan de escollos, y la precision de mantenerse en ellas es causa de que las embarcaciones estén expuestas, á que un viento fuerte que sople en la perpendicular á la orilla, las arroje sobre la tierra. Al continuo peligro de tal desastre se junta la desventaja de la lentitud de los viages. Como las tierras y el mar forman continuas entradas recíprocas, de modo que al salir una punta de tierra se abanzan las aguas á introducirse en ésta, las costas nunca siguen una direccion recta por largo espacio; y asi la embarcacion que se halla obligada á trazar en su camino una paralela á ellas, casi nunca puede ir por la distancia mas corta. La Navegacion práctica resulta, por tanto, limitada á los paises situados sobre la misma orilla, y por la absoluta necesidad de no separarse de las costas, es mas peligrosa y lenta que la que pudiera hacerse perdiendolas de vista. Asi, siendo poco propia para facilitar la comunicacion de los pueblos colocados dentro del mismo continente, y absolutamente insuficiente para la de los que están del todo separados por el agua, ha sido necesario buscar otros medios para hallar el lugar de la embarcacion en la mar, prescindiendo de las tierras y la sonda: y la coleccion de principios y reglas para executarlo ha formado un nuevo arte, que es el que nombrámos Navegacion teórica.

La

La Navegacion teórica, pues, es la que guia al navegante, quando faltan absolutamente los elementos de la práctica, ó que de su uso resultarian inconvenientes que se salvan por el otro método. Sus reglas se fundan sobre principios generales, y son aplicables á todas circunstancias de tiempo y de lugar. En el Pilotage práctico, como hemos visto, se halla el de la embarcacion, segun se executa caminando por tierra, esto es, por las señales particulares de cada parage; de lo que se sigue, que, quando la superficie del mar ofrece por todas partes un espectáculo uniforme, no solo falta el conocimiento de la situacion de la nave, sino que tambien es imposible notar la variacion que ocurra en la primera direccion que se le dió y por consiguiente el seguir la que se pretende. Sea por exemplo E (*fig.* 1.) el punto en que un Piloto no encontrando fondo pierde de vista el cabo C. Al momento de llegar á E podrá dirigir la proa de la embarcacion segun la línea EP que conduce al punto P de su destino; pero en el siguiente, no percibiendo en todos los puntos de la circunferencia HOR, que limíta la parte visible de la superficie de las aguas, diferencia alguna que le distinga uno de otro, podrá en vez de la EP seguir la E *a*, luego la *ab*, y así en adelante, sin que le sea posible advertir la mutacion,

cion, ni saber en estos instantes donde se halla. Si hubiese un medio de medir el ángulo PE*a*, ó lo que la E*a* se desvia de la EP sería facil ligar los puntos E, *a*, *b* y todos los del camino de la nave por la relacion de unos con otros. En efecto, las distancias E*a*, *ab* &c. pueden medirse desde el buque; pues, observando qual es su velocidad, ó lo que anda en una unidad de tiempo, y teniendo cuidado de advertir quándo y de quánto varía, por una simple regla de proporcion se hallará lo que ha caminado en cada porcion de tiempo en que continuó la misma; y sumando todas las cantidades, la distancia total que corresponde al tiempo dado. Asi, siempre que encontrémos método para medir las variaciones angulares, tendrémos resueltos por Trigonometría rectilínea los problemas del Pilotage.

La falta de tal auxîlio ha reducido por muchos siglos la Navegacion á un arte de pura práctica, y el descubrimiento de la Aguja naútica, que la ha sacado de tan estrechos límites, y ensanchado con ellos la esfera de los conocimientos humanos, forma la época mas interesante de la Navegacion, y es el principio de una de las revoluciones que mas influxo han tenido, tanto en las ciencias y artes, como en la politica. La piedra imán tiene las propiedades admirables de atraer el fierro y mantenerse, pues-

puesta en libertad, dirigida constantemente ácia el mismo punto. Esta última, y la virtud de comunicarsela al fierro ó acero, es la basa del instrumento mas útil del Pilotage; pues, suponiendo que EH sea la direccion que sigue en E una barra de alguna de aquellas materias, y conociendo por experiencia el punto á que mira, será facil deducir los ángulos $M'mP$, $M''m'P$; y por consiguiente, los puntos de la distancia EP, en que, siendo sensible la diferencia con el MEP, debe alterarse, de la cantidad que se calcúle, el ángulo del camino de la embarcacion con la línea señalada por la Aguja: reduccion inútil, quando las ME, $M'm$, $M''m'$ son sensiblemente paralelas. Asi con el único auxîlio de la piedra imán se halla el Piloto en estado de seguir la direccion que le conviene, y de saber lo que puede haberse desviado de ella: sin cuyo recurso no le sería dable hallar la relacion entre el punto donde se halla, y todos los intermedios con el de su salida.

Parece, por tanto, de esperar que un hallazgo que es la guia del navegante, y sin el qnal no podrian ser sus operaciones extendidas ni regulares, ocupáse un lugar fixo en la historia de los descubrimientos útiles, y que su fecha y demas circunstancias hubiesen pasado hasta nosotros con particularidad y cer-

certeza suficientes á satisfacer nuestro interés y curiosidad. Pero por una suerte, poco rara en las grandes invenciones, no está fuera de duda quien es el que imaginó la Aguja naútica, ni es menos problemática la época en que se percibió por la primera vez la propiedad del imán, cuyo conocimiento debió precederla. La Aguja, á corta diferencia como hoy se usa, parece que no se vió hasta principios del siglo XIV., y convienen muchos críticos en que entonces se debió á Flavio Gioja, natural de Almalfi, en el Reyno de Nápoles. Tal vez en ésta, como en otras invenciones, sucede, que haciéndose por partes y succesivamente, cada uno de los muchos que contribyeron á ella solo adelantó un grado que no pudo producirle entre sus contemporáneos admiracion capáz de estimularlos á perpetuar su nombre: y esta consideracion hace bien probable, que el primero que percibió la direccion constante del imán, estuvo lejos de imaginar todo el valor y utilidad de su descubrimiento. Pero sea aquella ú otra la serie de los progresos de tan preciosa adquisicion, considerémos la Navegacion ya dotada de este instrumento, y veamos si la exâctitud que facilita es toda la necesaria para sus operaciones.

Para caminar con claridad en esta averiguacion, que debe guiarnos á hacer un juicio de la confianza za que merecen los resultados del Pilotage, exâminémos ántes el medio que se usa para observar la velocidad de la nave: para que considerando separadamente los errores que pueden cometerse en la distancia, y los del ángulo del camino y direccion de la Aguja (que desde ahora llamarémos *rumbo*), pueda, por su combinacion, formarse idéa del que resulta en el cómputo del lugar de la nave. Como es esta la que se mueve, quedando en reposo la masa de las aguas, se ocurre facilmente, que, arrojando sobre la superficie del mar un pequeño cuerpo de qualquiera materia bastante ligera para no sumergirse, continuará fixo en el mismo punto, y podrá servir de término de comparacion, para deducir lo que anda la embarcacion, por lo que se aparta de él. Un cordel atado por uno de sus extremos á dicho cuerpo, y que se vá soltando desde á bordo á proporcion de lo que se aleja, dá la distancia andada por la nave en una porcion de tiempo, que puede medirse por un relox: y de estos datos se infiere facilmente todo el camino hecho mientras dura la misma velocidad. Sea, por exemplo, de 95 toesas la parte del cordel que se haya soltado en un minuto, y quierase saber, qué es lo que andubo la embarcacion en dos horas, en que repitiendo la misma operacion, se halló que continuaba con igual velocidad: la proporcion 1, á 120: como 95; al quarto término, dá 11400 toesas por la distancia caminada.

El fundamento de este método consiste, como se ve, en la permanencia del cuerpecito flotante en el mismo parage, y uniformidad del movimiento de la nave; y asi, si hay defecto en una ú otra suposicion, el resultado ha de salir erróneo. La práctica dexa raras veces de padecer esta desventaja; porque, siendo muchos los accidentes que influyen en ella, siempre hay alguno que altere su exâctitud. El cuerpecito que nada, y sirve de punto fixo, lejos de serlo verdaderamente, se halla sujeto á las agitaciones de todos los movimientos del mar: ya sean los irregulares de su superficie, como el de las olas, ya el progresivo de una porcion considerable de las aguas, como el de las corrientes. Por otra parte la velocidad uniforme sobre que se contó en el buque, mientras no se halla diferencia en su medida, es suposicion igualmente destituida de certeza y aun de verosimilitud. El empuje del viento, y su efecto en la embarcacion, pueden variar en el rato que divide una operacion de otra: las olas producen en la nave las mismas irregularidades que acabamos de especificar: y aunque estas causas aparentes admitan alguna compensacion, queda siempre

la

la dificultad de las corrientes, que, como no se conocen, pueden acarrear conseqüencias mas fatales que todas las anteriores. Estas razones, pues, demuestran, que, no solo es muy faláz la medida de la distancia por la *Corredera* (que es el nombre con que se distingue el conjunto del cuerpo flotante y cordel, de que hemos hablado) sino que es imposible hacer un cómputo fundado de la entidad de sus errores. Veamos ahora, si el uso de la Aguja está envuelto de iguales inquietudes.

Supongamos que navegando la embarcacion desde E ha seguido el rumbo ó rumbos que conducen á P, esto es, que ha conservado la direccion de su camino con la de la Aguja los ángulos MEP, $M'mP$, $M''m'P$ &c.: y que mientras ha andado por el cómputo de la Corredera una distancia igual á EP, la haya impelido una corriente con una fuerza capáz de hacerla pasar en el mismo tiempo de P á P'. Es facil concebir, que, obedeciendo á la combinacion de las dos acciones, se encontrará en P' quando se juzgaba en P, y que su verdadero rumbo se habrá desviado del aparente de un ángulo igual á PEP'. Solo quando la corriente sea segun el mismo camino de la nave, se conservará sin variacion el rumbo, recayendo entonces sobre la distancia todo el efecto del impulso de las aguas ; pero en general, quantas causas alteren la distancia, obrarán al mismo tiempo contra la direccion. La mayor ó menor fuerza del viento por su accion propia, y principalmente por ser causa de las olas que chocan contra el casco, apartan el rumbo aparente del verdadero de una cantidad que queda señalada en las aguas por las que acuden á ocupar el espacio que acaba de abandonar el buque. Esta marca sirve para saber el ángulo de aquella diferencia, que se llama *abatimiento*; y, aunque este método dexa que desear sobre su precision, los errores que quedan por él sin corregir son pequeños en comparacion de los que acabamos de enunciar. Las alteraciones que se notan en la direccion de la Aguja producen tambien algunos, aunque hay medio de advertirlas. Hablando de su invencion hemos sentado, que siempre, y en todas partes mira ácia el mismo punto del cuerpo terraqüeo ; pero la experiencia manifiesta que solo en casos particulares no varía su direccion con la mudanza de lugares, y que, aun en uno mismo, padece alteraciones con la sucesion de los tiempos. Si repitiendo, y combinando experiencias se hubiese atinado con la ley que observan estas variaciones, podria asignarse la que corresponde á qualquier parage ó época ; pero todas las di-

diligencias hechas para establecer esta teórica del imán han sido hasta ahora infructuosas; y aunque el movimiento de los cuerpos celestes facilita varios métodos de encontrar en la mar lo que la Aguja declina de la direccion que se le supone, los resultados carecen de aquella exâctitud que podria hacer como nulos los efectos del desvío. (1) El uso, pues, de la Aguja, que pierde axâctitud y sencilléz con la precision de aplicar continuamente tales correcciones, resulta en el todo poco exâcto; porque, no habiendo medio de despejar el rumbo de estas dudas y las primeras que especificamos, se halla el Piloto en la imposibilidad de adivinar la confianza que merece.

Además de los errores considerados, que dimanan de la insuficiencia de los instrumentos, nos queda aun que exâminar, si hay alguna falsa suposicion en las circunstancias que pueda acarrearlos nuevos ó complicar aquellos. La distancia y el rumbo hemos supuesto que basta para encontrar por Trigonometría rectilínea el lugar de la nave: que es lo mismo que suponer, que todas las líneas EP, E*a*, *ab* son rectas, ó que es plana la superficie de las aguas. Es, pues, necesario resolver

(1) Vease la nota al número 562 del segundo libro.

ver la qüestion de la figura del sólido terráqüeo, para verificar la exâctitud de aquel método, ó hacer entrar una nueva consideracion en todos los del Pilotage. Sin salir de las observaciones que pudieron hacerse en las primeras tentativas de la Navegacion, hallamos medios suficientes para adquirir este elemento indispensable. En efecto, al separarse las embarcaciones de las costas, van perdiendo de vista, gradualmente de abaxo para arriba, todas las eminencias: lo que no pudiera suceder, si al aumentar la distancia, no se interpusiese mayor volumen de las aguas; de lo que resultando, que la superficie del mar es convexâ, y observándose que á iguales distancias se pierden de vista iguales alturas, es facil concluir que el cuerpo terráqüeo, terminado por una superficie uniformemente curva, es de figura esférica. Asi, para que las operaciones del Pilotage sean menos erróneas, debe introducirse este elemento en su teórica, y abandonando la comodidad de considerarse sobre un plano, atender á la curvatura de todas las líneas que puede trazar el camino de la nave.

Para executarlo, se ofrece inmediatamente como medio mas oportuno, una fiel imitacion de la superficie de nuestro globo sobre una esfera capáz de transportarse á bordo; pues colocados en ella todos

dos los lugares, podrán señalarse despues los puntos en que sucesivamente se halla la embarcacion, y deducir la situacion respectiva que se desea. Este método es el mas natural, pero muy complicado é inexâcto. La mayor esfera que puede usarse es de un diámetro que, comparado con el de la tierra, es demasiado pequeño, para no confundir sensiblemente muchos puntos que en la práctica se hallan muy distantes: á lo que se añade que todas las líneas de la esfera son arcos de círculo, y lo que se apetece es reducir los problemas á casos de Trigonometría rectilínea. Las ventajas que se buscan en tal reduccion no consisten solo en la mayor facilidad de las resoluciones: se aspira principalmente á hallar el rumbo que ha seguido, ó debe seguir la nave, conservando el mismo rumbo, representado por una línea recta. Para percibir la importancia y dificultad de lo que se busca, basta considerar, que, mirando siempre la Aguja al mismo punto de la Tierra (que desde ahora llamarémos *polo*), todas sus direcciones, que son arcos de círculo, concurren en él; y que asi, cortándolos con el mismo ángulo, lejos de trazar un círculo máxîmo que forma ángulos desiguales con las direcciones de la Aguja, la nave á cada instante pasa de la perifèria de uno á la de otro.

Sin

Sin perder de vista aquel objeto, y ántes de recorrer los medios que se han substituido á los globos para evitar los inconvenientes de su uso, será del caso apuntar el método de fixar la situacion de los lugares en el de la Tierra. Siendo ésta de figura esférica, se ve, que con solo referirlos á un círculo máxîmo de posicion conocida, podrán colocarse independientemente todos los puntos que convengan: á cuyo fin puede elegirse el círculo máxîmo que tiene por polos los del imán, y darle el nombre de *equador*. Con esta eleccion, que proporciona además otras ventajas, no hay mas que averiguar la magnitud del arco perpendicular tirado desde el lugar al equador, y la distancia de un punto conocido en él al de interseccion. Llamémos al primero latitud, y á la segunda longitud, y veamos como podrémos representar en plano el todo, ó una porcion del globo terráqüeo.

Un leve exâmen de los elementos que se emplean en la Navegacion excluye desde luego qualquiera representacion en prespectiva, aunque para nuestro modo de ver sea la mas natural de todas. Despues de ésta, se ofrece, que, haciendo paralelos los arcos que miden la latitud, como efectivamente lo son sus tangentes en los puntos comunes con el equador, se conseguirá tener una representacion

de

de la Tierra conforme se necesita en la Navegacion. Esta es la que se llama Carta plana, pero sus defectos resultan facilmente comparándola con un globo. Asi se vé, que la Carta altera las distancias, dando iguales las que en realidad no lo son, y confundiendo la línea del rumbo que guia de un parage á otro con la porcion de círculo máximo que mide la distancia mas corta entre ellos. No puede, por conseqüencia, usarse sino en las proxîmidades al equador, y en las demas regiones crece su inexâctitud con las cercanías al polo y magnitud de los espacios que comprehende.

Estos errores eran demasiado patentes para que no se conociesen desde la invencion de la Carta plana, hecha ácia la mitad del siglo XV por el Infante D. Enrique hijo del Rey D. Juan I de Portugal, á quien tanto debe la Navegacion. Pero, aunque sus conseqüencias aumentasen continuamente en los navegantes el deseo del remedio, no se consiguió éste hasta mediado el siglo XVI, en que el flamenco Gerardo Mercator imaginó, que señalando los círculos máximos que miden la latitud y los menores perpendiculares á estos por líneas rectas paralelas, podian, aumentándose los grados de latitud, quedar representadas tambien por rectas las líneas de los rumbos. Y es facil hacerse cargo del artificio de esta invencion, considerando que, siendo cada pequeña porcion de la línea del rumbo la hipotenusa de un triángulo rectángulo, en el qual los otros dos lados son partes del arco que mide la latitud y del círculo menor que le es perpendicular, no hay mas que conservar la misma relacion entre estos, para que los ángulos continúen iguales. Así, en la Carta plana, de que hemos hablado, en que, representados los círculos perpendiculares al equador por paralelas, se desvían sus distancias de las verdaderas, á proporcion que se toman mas próxîmas al polo, si se agrandan los grados de latitud, en la razon que pide esta diferencia, se harán rectas las líneas de los rumbos: y, aunque con esta disposicion, hayan variado las distancias de unos puntos á otros, podrán reducirse á las efectivas, atendiendo al mismo principio de la construccion. Tal es el fundamento de las que llamámos Cartas esféricas ó reducidas, las quales facilitan al Piloto medio seguro de trazar exâctamente el camino de la nave, y saber qué rumbo ha de seguir para pasar de un parage á otro. Gerardo Mercator merece mucha gloria por haber sido el que dió las primeras nociones de los mapas de esta especie, aunque, como hay motivos que lo persuaden, sea cierto, que ignorando los verdaderos principios de su construc-

cion,

cion, solo las executó siguiendo una práctica grosera. Tal vez Eduardo Wright no habria sin aquel auxilio establecido su teórica á fin del siglo XVI. Pero lo que no admite duda es, que este grande hombre, demostrando por principios ciertos la construccion de la Carta reducida, dexó su utilidad fuera de toda contestacion. Uno y otro, pues, son acreedores á todo el reconocimiento de los navegantes, quienes numeran esta Carta entre sus mejores instrumentos.

Con los que acabamos de explicar, dexa de ser la esfericidad de la Tierra un inconveniente á los progresos de la Navegacion, pero siempre continúan sus operaciones sujetas á los errores de la Aguja y Corredera. Estos son tan considerables, que, á no haber recurso para disminuir su incertidumbre, jamás podrían hacerse los viages, sino exponiéndose siempre y sufriendo con freqüencia los últimos desastres; pero dichosamente el Pilotage saca de otras ciencias medios de enmendar los primeros resultados. La curvatura de la Tierra, que ántes se nos presentaba como un obstáculo á la exâctitud de la resolucion de los problemas, es uno de los que ofrecen mas utilidades; pues se percibe facilmente, que siendo la superficie sobre que nos hallamos la de una esfera convexâ circundada de otra cóncava aparente donde vemos los cuerpos celestes, cada línea vertical ó de aplomo, que se dirige al centro de la Tierra, va á encontrar el Cielo en un punto diferente. Asi, los astros que en unos parages nos parecen sobre la cabeza, se separan ácia una ú otra parte con la mudanza de lugares, y entonces quedan otros en la misma situacion á nuestra vista; por lo que se ve, que, teniendo conocimiento de los puntos del Cielo que corresponden á los de la Tierra, podria venirse en el de la posicion de la nave facilmente.

El Piloto, pues, tendría un método seguro que le guiase por todas las regiones, con solo observar las apariencias del Cielo, si otra combinacion que se opone á esta sencillez no complicase y aun disminuyese su uso en varios casos. El Cielo, ó superficie cóncava en que nos parecen engastadas las estrellas, hace un giro aparente en veinte y quatro horas. El Sol, ademas de dar la misma vuelta diferenciando el dia de la noche, tiene otro movimiento que le es peculiar, y causa las vicisitudes de las estaciones. La Luna tiene otro movimiento propio mas considerable en el mismo sentido: y mirando con cuidado el firmamento se observan otros cuerpos que igualmente se mueven siguiendo leyes particulares. La combinacion de todas estas variacio-

nes

nes son precisas para sacar de las observaciones de los astros el punto del globo terráqüeo en que se hacen, y la grandeza de la ciencia que las tiene por objeto es bien patente á la mas escasa vista de la multitud de circunstancias que entran en su consideracion. La Astronomía, sin embargo, á pesar de lo intrincado de su asunto, y de la dificultad de notar y de percibir con exâctitud los fenómenos celestes, ha llegado, no solo á descubrir las leyes del movimiento de los astros, sino á explicarlas por los principios de la Mecánica. La combinacion de los fenómenos observados con las experiencias físicas y el cálculo, prestándose mutuos auxîlios, han contribuido igualmente á establecer esta teórica en un grado de perfeccion tal, que para un momento futuro distante de muchos años pueden anunciarse todas las apariencias con que se presentará el Cielo á la vista de un observador en un parage conocido. La aplicacion de estos principios á los casos particulares de la Navegacion es el ramo mas precioso de ella; y asi, todos los adelantamientos que se hagan en el conocimento de los cuerpos celestes llevarán el Pilotage, al paso que la Astronomía, á su último grado de perfeccion.

Pero adoptando en la Navegacion las observaciones celestes se hace en doble respecto interesante

la

la averiguacion de la verdadera figura de la Tierra; pues ademas de los errores cometidos en el computo del lugar de la nave por operaciones geodeticas, como las de la Aguja y Corredera, la ignorancia de aquel elemento podria producir otros en los resultados de las observaciones, por tener sus apariencias una relacion precisa con la figura y magnitud del sólido terráqüeo. Algunos descubrimientos hechos en el siglo pasado dieron motivo á que se exâminase con esmero una qüestion tan importante, la qual ya en el dia está resuelta con suficiente exáctitud para los usos del Pilotage. Las medidas executadas en diversos parages de la Tierra acreditan que nuestro globo es chato ácia los polos, pero que la diferencia de sus diámetros no es tan grande que acarree graves errores en las demostraciones del Pilotage fundadas sobre la hipotesis de una perfecta esfericidad. Debe, no obstante, aplicarse esta correccion á todas las operaciones en que influya, y lejos de mirar la falta de precision de los medios capaces de producirlos mas considerables como motivo para dexar de practicarla, el Piloto, que se proponga caminar con todo el acierto posible, verá siempre en la inevitable inexáctitud de los resultados la razon mas poderosa para no desperdiciar qualquiera diligencia que le conduzca á disminuir en al-

algun grado el número de compensaciones casuales de que depende, desatendiendo solo aquellas que, no pudiendo conocer, sería temeridad introducirlas en el cálculo.

Esta veloz ojeada que acabamos de echar sobre la Navegacion no puede hacer patente á la vista del Piloto toda la extension y sublimidad de la ciencia que profesa. El constante estudio y práctica reflexîva de su facultad podrán únicamente hacerle elevar á una idea que no desdiga de su mérito; pero, aun sin penetrarlo todo, la importancia del objeto debe estimularle á procurar por todas las diligencias posibles el acierto de sus operaciones. El Piloto es una guia que, con presencia de todos los peligros y circunstancias intermedias, señala continuamente el camino que al fin conduce la embarcacion á salvamento. Las vidas de quantos ván en ella y la fortuna de otros muchos, que, con el vigor del Estado, dependen de la conservacion de estas mismas vidas y del valor de su armamento y carga, no reconocen otra seguridad que la que fundan sobre sus conocimientos y desvelo. Por consiguiente, al paso que el Pilotage es mas perfecto y los Pilotos mas instruidos, creciendo la seguridad de los viages, se aumenta con ellos la comunicacion de unos países con otros: y en los progresos de esta comunica-

ca-

cacion, que propiamente se denomina comercio, se afianza la felicidad general de todas las naciones no ménos que la seguridad y fuerza política de cada una. Nadie ignora, que sin la extraccion de lo sobrante, y la introduccion de su valor en efectos propios de otros climas, que ningun pueblo civilizado puede dexar de consumir desde la inalterable revolucion ocasionada por el descubrimiento de America y navegacion directa á Oriente, es imposible fomentar la Agricultura y la Industria de pais alguno; ni por consequencia, tener la poblacion respectiva á sus proporciones naturales, para contar con un seguro fondo de dinero, víveres, hombres, y demas artículos necesarios en las urgencias públicas. Verdad, de que es irrefragable testimonio la asombrosa elevacion de algunas Potencias de cortos recursos relativos, debida principalmente á la acertada preferencia con que han promovido el aumento de su Navegacion.

Los beneficios que son capaces de producir los buenos Pilotos no se limitan al tiempo de su vida ó práctica. Las posiciones exáctamente establecidas de los parages no bien conocidos ántes ó descubiertos nuevamente son otros tantos peligros ménos para los navegantes de los siglos venideros. Las observaciones, tambien, que pueden hacer unos faculcultativos cuya profesion les lleva á explorar varias regiones, además de ilustrar á los que executan despues los mismos viages, conducen eficazmente á un conocimiento preciso y por menor de nuestro globo: por cuyo medio, el Pilotage enriquece en pago á las mismas ciencias que le prestáron fundamento. Al fin, el amor de la humanidad, el de la patria, y el de las letras son incentivos que siempre tiene presentes el Piloto, para esforzarse á corresponder, en el grado que le sea dable, á la confianza que se le franquea.

Estos grandes estímulos, que son comunes á toda clase de Pilotos, se elevan á una consideracion inestimable, combinándose con otros peculiares al instituto, en los Oficiales de la Armada naval del Soberano. Debiendo reunirse en este Cuerpo, para imitacion de los demás navegantes, modelos de lo mas perfecto en todos los ramos de que consta la Marina, merece el Pilotage lugar tanto mas distinguido entre ellos, quanto sirviendo para dirigir los navios y esquadras, es fundamento indispensable para la conservacion y glorias de un nervio de la fuerza nacional, que, el primero de todos en las potencias puramente marítimas, es aun en las mixtas de los mas importantes: ya se considere como único medio de mantener la Marina mercantil sin la qual no hay comercio, y sin éste prosperidad alguna: ya como absolutamente necesario para sujetar y sostener las colonias, y preservar de muchas invasiones é insultos la metrópoli. El General de una esquadra, ántes que las evoluciones que pueden darle la superioridad á vista del enemigo, emplea los principios del Pilotage para interceptarlo: siendo muy posible, que por falta de un seguro conocimiento del lugar de su esquadra, perdiese con las precauciones precisas en la incertidumbre, no solo un tiempo precioso para la Nacion, sino tambien el único momento favorable que pudo haber para el lógro de la empresa. El Comandante particular de qualquier buque recurre á las reglas del Pilotage, para pasar al punto ó crucero de su destino. El simple Maniobrista no hace mas que obedecer los preceptos del Piloto, para dár á la nave la direccion conveniente en tiempos favorables, y aun en las circunstancias forzadas necesita las advertencias del mismo facultativo, para no atrasar el viage ó perder el buque en algun riesgo invisible. Y en una palabra, no puede haber operacion marítima, como es evidente por su misma naturaleza, en la qual no entre por principio el Pilotage, y cuya prontitud y dicha no dependan del modo de emplearlo.

Es-

Esta verdad, que se infunde desde los primeros rudimentos de su enseñanza en los que se educan para ser Oficiales de nuestra Armada, ha producido en ella todo el fruto que S. M. se propuso con el cultivo y aumento de la primer Compañía de Guardias-Marinas, y no puede presentarse prueba mas decisiva de la utilidad del Pilotage astronómico, que la experiencia de la felicidad con que por su medio se han dirigido nuestros buques. La certeza con que han navegado nuestras numerosas Esquadras en las varias expediciones de la última guerra consta, en particular, á toda clase de gentes: y es facil, recurriendo al origen, cerciorarse, de que la constante y oportuna aplicacion de los métodos mas perfectos que facilita la teórica han sido el fundamento de la seguridad de sus operaciones.

El Oficial á cuya obligacion pertenecen funciones tan importantes saca de varias fuentes los conocimientos necesarios para su completo desempeño. La Navegacion, considerada como una coleccion de principios teóricos, es siempre suficiente para hallar el lugar de la nave en un instante dado; pero para saber el camino ó derrota mas conveniente entre todas las que pueden hacerse de un parage á otro, es indispensable atender á un gran número de circunstancias, sin cuya combinacion no podría determinarse qual es el preferible. En efecto, despues que la Navegacion teórica manifiesta el rumbo que conduce la embarcacion al punto de su destino, resta que exâminar, si en el espacio intermedio hay corrientes contrarias ó gran número de escollos que puedan salvarse, tomando otro mas breve y seguro aunque ménos directo: si los vientos constantemente contrarios obligan al mismo partido, ó si, mudando con regularidad en ciertos tiempos del año, debe hacerse el viage en estaciones precisas. La noticia de los parages y temporadas en que reinan calmas, uracanes, tempestades, bancos de yelo &c., y en una palabra, todas las de la Historia Natural del Mar son conocimientos que deben entrar en consideracion, á fin de determinar, ántes de emprender un viage, que direccion ó direcciones han de seguirse para ahorrar tiempo y peligros en el grado que sea dable. Esta parte de la Navegacion, que podemos llamar *experimental*, es hija de la Geografía y de la Física, como la otra lo es de las Matemáticas, y las dos se auxilian mutuamente para promover los progresos de la práctica del Pilotage.

Son, como se ven, muchos los conocimientos que ha de reunir el facultativo que se dedica á conducir las embarcaciones de unos puertos á otros; pero, como el principal objeto que debe proponerse, se, es el ser útil en la execucion de su exercicio, cometería equivocacion en los medios el que creyese conseguirlo con la sola instruccion de la teórica. Es esta la basa del Pilotage, y no pueden cultivarse demasiado sus principios; pero esto ha de ser, sin engolfarse en especulaciones á costa de perder de vista las aplicaciones á la práctica, que es el fin de la profesion. Asi, lejos de contentarse con un conocimiento fundamental de los movimientos celestes, debe el Piloto exercitarse en la práctica de la Astronomía naútica, hasta que, teniendo confianza de sus propias observaciones, puedan servir con seguridad para la direccion de los viages. La teórica de la Astronomía, con el auxílio de las tablas que contienen los resultados de las observaciones de los grandes Astrónomos que nos han precedido, dán al Piloto el estado del Cielo para el instante que necesita en un punto conocido de la Tierra; pero, para utilizarse de este beneficio, es preciso que, con el conocimiento y destreza en el uso de los instrumentos, sea capaz de observar exâctamente las apariencias de los astros en el lugar donde se halla. Uno y otro ramo son, pues, igualmente necesarios para deducir verdaderas conseqüencias; y asi el principiante deberá proponerselos por objetos de sus tareas, para formarse en ambos sin desatender lo

mas

mas conducente para la práctica en ninguno de ellos. Lo que conseguirá, si, despues de instruido solidamente en la teórica, se fixa en los principios que tienen conexion mas inmediata con la práctica, afirmándose en ellos con las continuas aplicaciones de sus propias observaciones y exemplos.

La presente obra se dirige á ponerle en estado de seguir este método, dándole la teórica de la Navegacion matemática con las descripciones de los instrumentos y sus usos; pero sin hacer division formal de la especulativa y práctica, por que en la execucion de los viages se hallan naturalmente unidas una y otra. Tanto en la parte que tiene por objeto la combinacion de los datos, como en la que enseña los procedimientos para adquirirlos, procurarémos presentar la ciencia en el estado de perfeccion en que hoy se halla, y aunque ceñidos en todo á lo mas útil, entrarémos á tratar el Pilotage por la exposicion de los principios de Geografía y Astronomía que le sirven de basa, suponiendo únicamente en el principiante la instruccion de Matemática pura, correspondiente á los progresos que se proponga hacer en el estudio de la Navegacion.

TRATADO
DE NAVEGACION.

LIBRO PRIMERO.

QUE CONTIENE LOS PRINCIPIOS sobre que se funda mas inmediatamente la ciencia del Piloto.

PRINCIPIOS DE GEOGRAFÍA.

Por *Tierra* se entiende el sólido formado del conjunto de las aguas y la tierra, y la ciencia que trata de la descripcion de todas sus partes es la *Geografía.*

Si la descripcion es solo de una porcion considerable de la Tierra, se llama *Corografía*: si de un pequeño espacio, *Topografía*: y si del todo ó parte del mar, *Hidrografía.*

La Geografía en general, es una ciencia vasta que contiene muchos ramos, de los quales hay tres principales en que se divide, segun el particular objeto de sus descripciones. La *Geografía matemática* enseña á establecer las posiciones de todos los pun-

tos

tos de la Tierra, y la correspondencia de unos con otros; y como para executarlo se vale de las apariencias de los astros, se llama tambien *Geografía astronómica*. La *Geografía física* describe la Tierra, atendiendo particularmente á la naturaleza del terreno y de las aguas, á las producciones vegetales, y á los animales. Y la *Geografía histórica* y *política* es la que describe los países, dando noticia de las revoluciones que han acaecido en ellos en la religion, gobierno, leyes, costumbres, poblacion &c.

Qual sea la magnitud y figura de la Tierra es la primera averiguacion cuya necesidad ocurre para describirla: busquemos, pues, este elemento.

DE LA MAGNITUD Y FIGURA de la Tierra.

1 El movimiento aparente de los astros nos presenta un medio facil de adquirirlo. Mirando con atencion al Cielo vemos, desde qualquier parage de la Tierra, que todo él dá una vuelta en veinte y quatro horas sobre un exe que, pasando por el observador, termina en un punto que se mantiene
Fig. 1. invariablemente en la misma situacion. Sea este P, y L un punto de la Tierra: por L tirese una vertical ó perpendicular VL á la superficie, y por VL ima-

imagínese un plano, representado por el del papel, que pase por P. Se concibe facilmente, que todos los astros en su revolucion llegarán en este plano á la menor distancia de la VL; y, siendo VLE á la que llega una estrella E, no tiene duda, que, si la superficie de la Tierra es plana se verá siempre esta estrella á la misma distancia de la vertical desde todos los puntos de la interseccion LT'. En efecto: sabiendo que las estrellas están de nosotros á una distancia infinita en comparacion de la LT', y siendo los senos de los ángulos LET', ET'L como los lados opuestos, se sigue, que el ángulo LET' es infinitamente pequeño; y que por consiguiente las líneas EL, ET' pueden considerarse como paralelas, y que V'T'E es igual á VLE. Por este raciocinio se ve, que si, midiendo las distancias angulares V'T'E y VLE se encuentra entre ellas alguna diferencia, debe concluirse que las verticales VL, V'T', lejos de ser paralelas, forman entre sí un ángulo igual á ella, como, por exemplo, VLCTV'', y conseqüentemente que la línea LT no es recta.

Las observaciones demuestran, que á qualquiera mutacion de lugar segun el plano VLP, la distancia de la estrella á la vertical varía, de modo, que á iguales distancias andadas sobre la Tierra corresponden las mismas diferencias angulares; y resultando de aquí, que la seccion LTML es de una curvatura uniforme, esto es, un círculo, y hallando igual resultado por los mismos fenómenos en todos los demas puntos de la Tierra, queda probado: que las secciones de todos los planos tirados desde P perpendicularmente á la superficie de la Tierra son círculos de las mismas dimensiones, ó lo que es lo mismo, que el sólido terráqüeo es una esfera.

2 Los mismos datos que han hecho conocer la figura de la Tierra proporcionan un medio facil de medir su magnitud. La diferencia de los ángulos VLE, V″TE dá en grados el valor de LCT; y siendo facil medir sobre la Tierra, la longitud del arco LT, en varas, pies, ú otra unidad conocida, se deducirán de aquellas dos cantidades, por simples reglas de proporcion, todas las dimensiones de qualquier círculo máxîmo del globo terrestre como LTML. Por este método se han practicado muchas medidas en todos tiempos, y de las mas modernas resulta, que el grado terrestre es de 57000 toesas de Francia ó 133000 varas castellanas.

3 La figura esférica de la Tierra está comprobada por todas las observaciones; pero, aunque esta verdad no estuviese tan completamente demostra-

trada, hubiera disipado toda duda sobre ella, la experiencia de los varios viages executados al rededor del mundo desde el emprendido por Magallanes y concluido por Cano, en los quales se han observado todos los fenómenos consiguientes á la redondez del globo. No nos detendrémos, pues, en acreditar esta proposicion con nuevas pruebas, y nos contentarémos, por ahora, con advertir, que la Tierra no es tan perfectamente esférica como hemos deducido, y que su figura, averiguada con rigor en estos últimos tiempos, se ha hallado aplastada ácia los dos extremos de uno de sus diámetros, de modo que el mayor es al menor como 231 á 230, poco mas ó ménos. Esta diferencia puede despreciarse en las operaciones que no requieran la mayor exâctitud; y asi, en adelante, siempre supondrémos que la Tierra es de la figura y dimensiones expresadas.

4 En la figura de la Tierra no hemos atendido á las alteraciones que pueden causar en ella las desigualdades de las montañas, porque sus volúmenes son casi nada respecto al de todo el globo. Entre los mayores montes se cuentan los medidos en America por los encargados de la averiguacion del grado terrestre, y de estos solo excede tres millas la elevacion del Chimborazo que se tiene por el cer-

ro mas alto de la Tierra, y es, segun el Excmo. Sr. D. Jorge Juan, de 3380 toesas. Por este pueden formarse idéas relativas de todos los demas, que generalmente son mucho mas baxos, considerando en la circunferencia de un círculo, lo que es respecto al todo qualquier arco de ménos de tres minutos.

DE LA DIVISION NATURAL de la Tierra.

5 La superficie de nuestro globo se halla naturalmente dividida en varias porciones de tierra y agua, á las quales se han aplicado nombres, para distinguirlas unas de otras, segun sus diversas circunstancias de posicion, magnitud, y figura.

La Tierra se divide en continentes, islas, penínsulas, istmos, promontorios, y montes ó montañas: y el agua en mares, golfos, estrechos y rios.

6 *Continente*, ó como suele decirse *tierra firme*, es un grande espacio de tierra que comprehende varios países y estados, cuyas partes no están del todo separadas por el agua.

7 *Isla* es una porcion de tierra circundada de agua.

8 *Península* es una porcion de tierra rodeada de

de agua por todas partes, á excepcion de una estrecha garganta que la junta á otra tierra.

9 *Istmo* es esta garganta, por la qual comunica la Península al pais adyacente.

10 *Monte* ó *montaña* es una parte de tierra mas elevada que el pais vecino. Si el monte es áspero y peñascoso se llama *cerro*, si poco alto *collado* ó *colina*, y la colina ó collado que se levanta de los llanos toma el nombre de *loma*.

11 *Promontorio* es un monte que se abanza é interna en el mar: cuya extremidad, como la de todo punto de la costa en posicion semejante, se llama *cabo* ó *punta*.

12 Llámase *mar* á una vasta coleccion de agua salada que ocupa una gran parte del globo que habitamos.

13 El todo de los mares ó la vasta extension de las aguas, que sin interrupcion circunda los grandes continentes, se denomina propiamente *occeano*. El occeano tiene una significacion precisa, y se dice del mar en general por oposicion á los mares encerrados en las tierras. El occeano no rodea ménos el Nuevo Mundo que el Antiguo; pero á los mares comprehendidos en ciertos espacios de tierra, el nombre de occeano no conviene.

14 Estos mares ó ramas del mar principal, se dis-

distinguen con varios nombres, segun su magnitud y circunstancias.

Un grande espacio de agua circundado de tierra por todos lados, á excepcion de una parte por la qual comunica con el mar grande, se llama *mar mediterráneo*, ó simplemente *mar*.

15 Quando esta especie de mar es de extension ménos considerable se llama *golfo*. Los golfos se distinguen en propios, é impropios. *Golfo propio* es aquel, cuya entrada es ménos ancha que lo que se interna en las tierras: y *golfo impropio* aquel, en que la última dimension es menor que la primera.

16 Quando el golfo es pequeño toma el nombre de *bahía*.

17 En estas definiciones debe notarse, que muchas veces se aplican siniestramente los nombres de mar, golfo, y bahía &c. confundiéndolos unos con otros. Esto consiste en las equivocaciones que cometieren los primeros descubridores; pero despues, se hace preciso seguirlas segun las ha establecido el uso, para no ridiculizarse ni producir obscuridad con nuevas denominaciones.

18 *Archipiélago* es un espacio de mar en que se hallan esparcidas muchas islas.

19 *Estrecho* es el pasage angosto que une dos partes del mar.

La-

20 *Lago* es una porcion de agua cercada de tierra por todas partes.

21 *Rio* es una porcion de agua, que, naciendo en las montañas, ó qualquier parte elevada de tierra, corre por un canal estrecho hasta que desemboca en el mar ó en otro rio.

22 El mar, cuyo fondo es semejante á la superficie de la tierra seca, está sembrado como esta de varias eminencias, de las quales algunas llegan á corta distancia de la superficie de las aguas, y son, por consiguiente, otros tantos peligros para los navegantes. Estos son los que se llaman *baxos*, ya estén del todo sumergidos, ya tengan alguna parte visible sobre el mar.

23 Los baxos de arena pura toman el nombre de *bancos*.

24 De los baxos, y de las islas y costas principales se desprenden los *arrecifes*, que son unas continuaciones de peñascos, solos ó mezclados con arena.

25 Las ensenadas ó recodos que forman en las costas las entradas del mar, proporcionan sitios acomodados, para que las embarcaciones se mantengan en ellos guarecidas de los temporales; y, segun las circunstancias, se distinguen en *radas*, y *puertos*. *Rada* es un parage en que las embarcaciones fondeadas están descubiertas á ciertos vientos: *puerto* es el

el que dá abrigo para todos, y donde toda clase de embarcaciones pueden llegar, estar, y hacer con seguridad sus cargas y descargas.

26 No podriamos, sin propasar los límites de nuestro plan, dar una noticia particular de las diversas partes, que, con aquellos ú otros nombres, constituyen la superficie de nuestro globo. Estos asuntos, tratados por menor, podrán hallarse en las obras que tienen por único objeto la Geografía ó Historia Natural. Nosotros, ciñéndonos á lo mas indispensable, solo darémos algunas nociones generales en la seccion siguiente, y dirémos desde ahora, que, ordinariamente se cuentan dos grandes continentes, que son, el *continente antiguo* compuesto de la Europa, el Asia y el Africa, y el *continente moderno* que comprehende la America Septentrional y Meridional. El equador, ó un círculo máximo fixado para referir las posiciones de los lugares, divide toda la Tierra en dos hemisferios, de los quales, el que llamamos del *Norte*, *Boreal*, *Septentrional*, ó *Arctico* contiene la Europa, la Asia, y las partes del Africa y America que no caen en el otro hemisferio, que es el del *Sur*, *Meridional*, *Antarctito*, ó *Austral*.

27 El occeano tambien se divide en varias partes, pues aunque tales divisiones no estén determi-

minadas por límites naturales, como las de los mares encerrados entre costas y en que solo puede entrarse por estrechos, la facilidad de explicarse en la Geografía y Navegacion exíge, que un todo tan grande como el Océano se imagine compuesto de varias partes, y que se distingan con nombres particulares.

28 Muchos geógrafos dividen el Océano principal en quatro grandes partes, de las quales cada una se llama tambien océano y son:

1.° El *océano Atlantico*, situado entre la costa occidental del mundo antiguo y la costa oriental del nuevo. Este se llama tambien *océano Occidental*, porque cae al occidente de la Europa. El equador lo divide en dos partes, de las quales, la una está contigua al océano Hiperboreo, y la otra al mar Meridional.

2.° El *océano Pacifico* ó *gran mar del Sur*, situado entre la costa occidental de America y la oriental del Asia, extendiéndose hasta la China y las islas Filipinas.

3.° El *océano Septentrional*, *Hiperboreo*, ó *Helado*, que se extiende al norte de la Europa y Asia, hasta el polo arctico.

4.° El *océano Meridional*, que, al sur del Africa y America, reyna al rededor del polo antarctico, y del qual es una parte el *océano Indio*.

29 Otros geógrafos dividen tambien el Océano principal en quatro partes, del modo siguiente. El océano Atlantico, segun ellos, constituye una parte, pero no la extienden mas allá del equador, donde hacen principiar el *océano Ethiopico*. Cuentan además, como hemos dicho, el océano Pacífico, y añaden el océano Indio, comprehendido entre la costa oriental de Africa, las del Asia proxîmas al equador, las islas de esta parte del mundo, y el gran continente de la Nueva Holanda.

30 Algunos solo lo dividen en tres partes: á saber, el Atlantico, el Pacífico, y el Indio, pero entonces dán mas extension al océano Pacífico.

Esta diversidad es de poca importancia, y cada uno podrá adoptar, y aun discurrir la division que mejor le parezca; pues, no habiendolos señalado la naturaleza, los términos que separen unas partes de otras serán siempre obras de la imaginacion casi arbitrarias. Asi, en la lámina primera se verá, que, además de los referidos, hemos indicado el océano Oriental y el mar del Norte.

31 Consultando dicha lámina, que representa toda la superficie del globo terrestre segun la proyeccion de Mercator, esto es, como resultaría en un cilindro indefinido circunscripto á la Tierra en el

el equador, se tendrá una idéa clara de las posiciones relativas de los continentes y mares referidos, como asimismo de otras partes considerables de tierra y agua, cuyos nombres no hemos mencionado en particular: como son la Nueva Holanda, y demas países descubiertos modernamente, que se distinguen en Tierras Arcticas ó Boreales, y Antarcticas ó Australes, segun el polo del equador que se halla en sus proxîmidades.

DE LA DIVISION POLÍTICA de la Tierra.

32 Llamamos division política, la que se hace de la Tierra con respecto á la constitucion y gobierno de los diversos estados que contiene. Para proceder con órden, considerarémos en particular á cada una de las quatro grandes divisiones de la Tierra, que comunmente se conocen por las quatro partes del mundo.

Europa.

33 La Europa tiene por términos, al norte el occeano Septentrional ó Helado, al sur el mar Mediterráneo que la separa del Africa, al oriente

el Asía, y al occidente el occeano Occidental. Sus límites mas próxîmos al equador están en 34° de latitud [1] norte, y en 73° de latitud, tambien norte, los mas cercanos á este polo: al oriente y occidente se extiende desde 2° de longitud occidental hasta 82° de longitud oriental de Cádiz. Los geógrafos cuentan ordinariamente 1200 leguas de veinte al grado (esto es 3600 minutos del grado terrestre) en su mayor largo, desde el Cabo de San Vicente en Portugal hasta la boca del rio Obi en el occeano Septentrional, y unas 733 en su mayor ancho, desde el cabo Matapan en la Morea hasta el Cabo Norte en el septentrion de la Noruega. Los diversos países que contiene se hallan apuntados en la tabla siguiente.

En las tablas de esta clase, la I significa imperio, la R reyno, la r república, los países que no tienen alguna de estas marcas están divididos en diferentes soberanías, y los comprehendidos en una llave son partes de la misma.

Es de advertir que la España, como otros varios reynos, contiene diversas provincias que fuéron en algun tiempo indepedientes; pero estas subdivisiones, que pertenecen á su particular descripcion

(1) Los párrafos 82 y 86 explican lo que es latitud y longitud.

cion ó historia, no pueden tener lugar en una vista sucinta y general como la que dámos.

PAÍSES.	CIUDADES PRINCIPALES.	RIOS.	MONTES.	RELIGION.
I Alemania........	Viena.	Danubio......	Alpes.	Católica, Luterana, y Calvin.
R Dinamarca..... Noruega......	Compenhague... Bergen.........	Eyder........ Glammer.....	Dofrines.....	Luterana.
R España......	Madrid........ Toledo....... Sevilla.........	Ebro......... Tajo........ Guadalquivir.	Pirineos..... Guadarrama. Sierra Morena.	Católica.
R Francia.......	París..........	Garonna..... Rhon........	Pirineos.	Católica.
r Holanda......	Amsterdam.....	Rhin.........	....	Calvinista.
R Hungría......	Presburgo, Buda.	Danubio.....	Carpathos, ó Krapac. ...	Católica.
Italia.........	Roma..........	Pó.......... Tiber.......	Alpes. ...... Apenninos...	Católica.
R Inglaterra.....	Lóndres......	Támesis.....	Malvern......	Luterana.
R Escocia.......	Edimburgo.	Forth.......	Grampian.....	Calvinista.
R Irlanda.......	Dublin.	Shannon....	Mourne.....	Católica, Luterana, y Calvin.
I Moscovia, ó Rusia Européa...	Petersburgo. ... Moscou.......	Wolga. ...... Nieper.......	Poyas.......	Griega Cismát.
Países baxos....	Bruséllas.......	Mosa.......	....	Católica.
R Polonia.......	Varsovia......	Vistula......	Carpathos, ó Krapac. ...	Católica.
R Portugal......	Lisboa.......	Tajo.......	Cabo la Roca.	Católica.
R Suecia........	Stockolmo.....	Clara.......	Dofrines.....	Luterana.
r Cantones Suizos.	Lucerna....... Berna........	Rhin.	Alpes........	Católica, y Calvinista.
I Turquía, ó Provincias ácia el Danubio, Grecia, y pequeña Tartaria. ...	Constantinopla.. Choczim...... Athenas...... Caffa........	Danubio..... Niester...... Nieper...... Don........	Pindo. ...... Parnaso. Olimpo. Athos.......	Mahometana.

34 Ademas de los expresados en la tabla, hay quatro reynos en Europa, cuyos estados están comprehendidos en dichos países, á saber:

El reyno de Prusia, formado de una parte de Polonia cuya capital es Konigsberg, pero el Soberano, siendo al mismo tiempo Elector de Brandenburg, tiene su residencia en Berlin, ciudad de Alemania cabeza del Electorado.

El reyno de Bohemia, sujeto ahora á la casa de Austria, que es una parte de Alemania y su capital Praga.

El reyno de Cerdeña, que es una isla de la Italia perteneciente al Duque de Saboya, que reside en Turin, ciudad del Piamonte.

El reyno de las dos Sicilias, que está totalmente comprehendido en la Italia, y consta de Nápoles y de la isla de Sicilia. La ciudad de Nápoles es la capital del todo.

35 Los mismos países ya nombrados, y con particularidad la Italia y Alemania, encierran, además, varios Estados independientes, de los quales los principales son los siguientes. Los títulos de las soberanías ván indicados de este modo: A D significa Archiduque, G D Gran Duque, D Duque, E Elector, P Príncipe, L Landgrave.

EN ALEMANIA.				
Estados...... Ciudades princ.	AD Austria. Viena.	R Bohemia. Praga.	E Babiera. Munich.	E Brandenburg. Berlin.
Estados...... Ciudades princ.	E Saxonia. Dresde.	E Hanover. Hanover.	E Palatinado. Manheim.	E Maguncia. Maguncia.
Estados...... Ciudades princ.	E Treveris. Treveris.	E Colonia. Colonia.	L Hesse-Cassel. Cassel.	D Wortemberg. Stutgard.
EN ITALIA.				
Estados...... Ciudades princ.	D Saboya. Chambery.	P Piamonte. Turin.	D Milanés. Milan.	D Parmesano. Parma.
Estados...... Ciudades princ.	D Modenés. Módena.	D Mantuano. Mantua.	r Venecia. Venecia.	r Génova. Génova.
Estados...... Ciudades princ.	GD Toscana. Florencia.	Estados de la Iglesia. Roma.	r Lucca. Lucca.	R Nápoles. Nápoles.

36 Las principales islas de Europa son las siguientes.

En el Mediterráneo

Mallorca, Menorca, é Iviza, pertenecientes á la España.

Sicilia, Cerdeña, Córcega, Malta, pertenecientes á la Italia.

Corfu ó Corcyra, y Cefalonia, situadas en el mar Jonio y sujetas á los Venecianos.

Can-

Candia ó Creta, Chipre, Rhodas, Negroponto (la antigua Eubéa), Lemnos, Tenedos, Scyros, Lesbos, Scio, Samos, Delos, Paros, Cerigo ó Cytherea, Santorin, y todas las demas que hacían parte de la antigua Grecia, y ahora están en posesion del Gran Señor.

37 En estas islas deben distinguirse las del antiguo mar Egeo, que componen el célebre Archipiélago á que se dá este nombre con particularidad. Este Archipiélago está situado entre la Morea, la Macedonia, el Asia y la isla de Candia: y sus islas se dividen en Cyclades, y Sporades.

38 Aqui advertirémos, que, entre los geógrafos, hay alguna diversidad sobre los límites que en esta parte separan el Asia de la Europa; pero lo mas general es comprehender en la última division el Archipiélago, el mar de Marmora, el mar Negro, el mar de Azof, y el rio Don.

En el occeano Atlantico, y Septentrional.

39 Las Azores, pues, aunque es dudoso á que parte del mundo deban referirse, las contarémos entre las islas Europeas por estar sujetas á Portugal.

Las Británicas, esto es, las islas de la Gran Bre-

Bretaña, Irlanda, é islas al norte y occidente de Escocia, todas baxo el mismo Monarca.

Las islas de Ferroe, y la Islanda pertenecen á la Dinamarca, que tambien extiende sus pretensiones hasta la isla de Spitzberg y la Groenlandia; pero se ignora aun la extension de estos últimos países, y si se reducen á una isla, ó forman alguna porcion del continente de America ó del de la Tartaria.

En el mar Báltico.

40 A la entrada, las de Zelandia, Funen, y otras sujetas á la Dinamarca.

Las de Gothland, Aland, y Rugen pertenecientes á la Suecia.

Los principales mares y golfos son:

41 El mar Mediterráneo que se extiende de occidente á oriente, y termina por el norte con la Europa, y por el sur con el Africa.

El mar Adriático ó golfo de Venecia, que es la entrada del Mediterráneo comprehendida entre la Italia y la Turquía, en cuyo fondo está situada la ciudad de Venecia.

El mar Negro (el *Pontus Euxinus*), que es otra parte del Mediterráneo situada entre la Europa y el Asia.

El mar de Marmora, es la porcion situada entre el mar Negro y el Mediterráneo.

El mar de Azof ó Zabache, es la continuacion del mar Negro que se abanza hasta la boca del rio Don ó Tanais entre la pequeña Tartaria y el Cuban.

El occeano Atlantico, que, desde la boca de su comunicacion con el Mediterráneo, se extiende por las orillas occidentales de la Europa bañando sucesivamente las costas de España, Francia, Inglaterra, Holanda, Alemania, Dinamarca y Noruega, adquiriendo sus partes en este espacio los varios nombres que se expresan.

42 El mar de Cantabria ó bahía de Vizcaya, tiene por límites la costa septentrional de España y la de Francia hasta Ouessant.

El mar de Alemania ó Germánico, está comprehendido entre las costas de Holanda, Alemania, Dinamarca, Noruega, y las de la Gran Bretaña hasta las islas al norte de Escocia.

El mar Báltico está encerrado entre las costas de Suecia, Dinamarca, Polonia, y Rusia.

El golfo de Bothnia es una entrada que hace el mar Báltico en las tierras de la Suecia.

El golfo de Finlandia es otra rama del mismo mar que se introduce entre los estados de la Suecia, y de la Rusia.

El

El mar Septentrional, ó Helado, es el que baña las costas septentrionales de la Europa, desde la Laponia hasta la parte mas oriental de la Siberia.

El mar Blanco es la parte del mar Helado que penetra ácia el sur en la Rusia.

Los estrechos que se cuentan particularmente en los mismos mares son:

43 El estrecho de Gibraltar, formado por las costas de España, y Africa, une el occeano Atlantico, y el Mediterráneo.

El estrecho de Galipoli, los Dardaneles, ó Helesponto, es el pasage entre la Romanía, y Natolia, por el qual comunican el mar Mediterráneo, y el de Marmora.

El estrecho ó canal de Constantinopla, ó Bosforo thracio, sirve de comunicacion al último y al mar Negro.

El estrecho ds Caffa vá del mar Negro al de Zabache.

El mar que separa la Inglaterra de la Francia, se llama comunmente Canal ó Mancha, y su parte mas estrecha paso de Calais.

El Sund es el estrecho, que, pasando entre la isla dinamarquesa de Zelandia, y la provincia sueca de Scania, une el mar Báltico, y el de Alemania.

El estrecho, formado por la isla de Zelandía, y la de Fionia, se llama el gran Belt: y el que corre entre la isla de Fionia, y la Jutlandia, pequeño Belt.

Del Asia.

44 El Asia tiene por límites al norte el mar Septentrional, ó Helado, al oriente el estrecho de Anian, ó Beering, que la separa de la America, y el occeano Oriental que hace parte del Pacífico: al occidente el istmo de Suez, y mar Roxo que la separan del Africa, y el mar Mediterráneo, el Archipiélago, el mar Negro, el de Zabache, el rio Don, y una línea tirada del recodo mas oriental de este rio al cabo Candenos que la dividen de la Europa. Sus dimensiones, comprehendiendo las islas, se extienden, desde el equador hasta 10° de latitud en el hemisferio del sur, y hasta mas allá del paralelo de 75° en el del norte, y, segun las Cartas de los Rusos, desde 34° hasta 195° de longitud de Cádiz. Su largo de occidente á oriente podrá ser de 1750 leguas, y su ancho de norte á sur de 1550.

45 Los nombres de sus principales países, ciudades, rios, y montañas son los siguientes.

PAÍ-

	PAÍSES.	CIUDADES PRINCIPALES.	RIOS.	MONTES.	RELIGION.
	Arabia.......	Medina...... Mecca.......	Eufrates......	Sinai......... Horeb........	Mahometana.
	Armenia......	Erzerom.....	Eufrates......	Tauro........	Cristiana y Mahometana.
I	China........	Pequin....... Nanquin.....	Ta.......... Quiam........	Xanchen......	Natural la de Confucio, y otras.
R	Corea.	Sior.	Talo.......	Shanalin.....	Gentil.
	Diarbec, ó Mesopotamia....	Bagdad....... Diarbeckir....	Eufrates....... Tigris.......	Tauro........	Mahometana y Cristiana en algunas part.
	Georgia, ó Gurgistan.......	Teflis.......	Kur, ó Ciro...	Caucaso......	Mahometana y Cristiana en algunas part.
I	India al occidente del Ganges, ó Indostan.	Agra........ Delhi.......	Indo........ Ganges......	Imao........ Bilagate......	Mahometana y Pagana.
	India al oriente del Ganges.	Ava......... Pegu........ Siam........ Malacca..... Cambodie....	Ava......... Pegu. Menan. Malacca. Menomcam....	Damascenos...	Gentil.
	Natolia......	Bursa....... Smirna.......	Sarabat......	Tauro....... Amano.......	Mahometana.
	Palestina, ó Tierra Santa...	Jerusalen.....	Jordan......	Sion.........	Cristiana, y Mahometana.
I	Persia.......	Ispahan.....	Aras ó Araxes..	Daghestan, Tauro.......	Mahometana.
	Siria........	Aleppo......	Adonis.......	Libano.......	Cristiana, y Mahometana.
	Tartaria Chinesca.......	Chynian.....	Argun.......	Fongubans kan.........	Gentil.
	Tartaria independiente....	Samarcanda....	Gihon.......	Seturlag.....	Gentil.
	Tartaria Rusa ó Siberia.....	Tobolscko....	Irtis........ Jenisca.....	Poyas.......	Cristiana, y Pagana.
R	Thibet	Esquerdú....	Thibet......	Cantes.......	Del gran Lama.

46 Algunos de los países nombrados se hallan unidos baxo la misma dominacion, y otros contienen subdivisiones independientes.

47 Los estados del Gran Señor, ó la Turquía asiática, comprehenden la Natolia, Siria, Palestina, Diarbec y parte de la Armenia, Georgia, Curdistan, y Arabia.

48 En la India al occidente del Ganges está situado el imperio del Gran Mogol, de que son tributarios en diversos grados de dependencia otros soberanos que con varios titulos gobiernan muchas y extensas provincias. Su division por mayor es como sigue.

Parte Septentrional......	Países.........	Indostan propio.	Cambaya, ó Guzarate.	Bengala.
	Ciudades princ..	Delhi, Casimera.	Surate.	Dacca, Calcutta.
Costa de Malabár........	Países.........	Decan, ó Visapur	Bisnagar, ó Carnate occidental.	Madura en el C. Comorin.
	Ciudades princ.	Goa, Bombay.	Callicut, Cochin.	Madura.
Costa de Coromandel....	Países........	Bisnagar, ó Carnate oriental.	Golconda.	Tanjur, Costa de Orixa.
	Ciudades princ.	Bisnagar, Madrás.	Golconda, Musulapatan.	Tanjur, Orixa.

La

La India al oriente del Ganges contiene:

Paises.	Azem.	Ava.	Aracan.	Pegu.	Siam.
Ciudades princ.	Chamdara.	Ava.	Aracan.	Pegu.	Siam.
Paises.	Malacca.	Cambodia	Cochinchina.	Laos.	Tonquin.
Ciudades princ.	Malacca.	Cambodia	Toanoa.	Lanchang.	Cachao.

49 Las principales islas pertenecientes á esta gran division del globo son:

Islas del Japon.	Islas princ...	Nipon.	Ximo.
	Ciud. princ.	Jeddo, Meaco.	Nanghazal.
Islas Chinescas.	Islas princ...	Formosa.	Hainan.
	Ciud. princ.	Té-Uang-Fu.	Quiuncheo.
Islas Marianas, ó de los Ladrones.	Islas princ...	Guahan.	Tinian.
	Ciud. princ.	Guahan.	
Islas Filipinas..	Islas princ...	Luzon.	Mindanao.
	Ciud. princ.	Manila.	Samboanga.
Islas Molucas, y de Banda. . .	Islas princ...	Amboina.	Banda.
	Ciud. princ.	Fuerte Victoria.	Fuerte Nassaw.
Islas de Sonda..	Islas princ..	Borneo.	Sumatra.
	Ciud. princ.	Bojar-Massen.	Achen.
	Islas princ..	Java.	Banca.
	Ciud. princ.	Batavia.	Banca.

50 Ademas de las expresadas, se cuentan en el Asia un gran número de islas considerables, como son las de Celebes ó Macassar, Gilolo, Timor &c. que cercan las Molucas, las de Nicobar, y Andaman, la de Ceylan (cuya ciudad principal es Candy), las Maldivas, y Lacdivas, las de Yeso, las Kuriles, las descubiertas en estos últimos por los Rusos y el Capitan Cook en el mar de Kamtschatka y occeano Pacífico &c.

51 El inmenso número de islas asiáticas hace que se distingan en ellas varios archipiélagos, y de estos son los mas considerables, el archipiélago de S. Lázaro, ó de las Filipinas, el de las Molucas, y el de las Maldivas.

Los principales mares y golfos del Asía son:

52 El mar Helado, al septentrion del Asía.

Los mares Pacífico, é Indio, que bañan las costas orientales y meridionales del Asia, distinguiéndose sus partes con varios nombres, segun sigue.

El mar de Kamtschatka está comprehendido entre la península de este nombre, y las costas de la Siberia y Tartaria.

El mar de Corea, entre la Corea, y las islas del Japon.

El mar Amarillo, entre la Corea, y la China.

El

El golfo de Tonquin, entre la China, el Tonquin, y la Cochinchina.

El golfo de Siam, entre Cambodia, Siam, y Malacca.

El golfo de Bengala, entre la India al oriente del Ganges, y la India al occidente del mismo rio.

El golfo Pérsico entre la Persia, y la Arabia.

El mar Roxo, ó golfo Arabigo, está comprehendido entre las costas de Arabia, y las de Egypto, Nuvia, y Ethiopia: y una línea tirada por la medianía de su largo divide el Africa del Asia.

53 El mar Caspio es un gran lago, situado entre la Tartaria, el reyno de Persia, la Georgia, y la Moscovia, y no tiene comunicacion visible con los otros mares.

Los principales estrechos son:

54 El estrecho de Beering, que, cerca del círculo polar, divide la America del Asia, entre el cabo Oriental del Asia, y el del Príncipe Guillermo de America. Llámase asi este estrecho, por el capitan Beering, que se asegura lo pasó en 1728; pero su conocimiento se debe al último viage del célebre Cook: bien que los geógrafos lo hayan trazado en los Mapas tiempo hace, dadole el nombre de Anian, y disputado mucho sobre la exîstencia y posicion de este lindero de ambos continentes.

El estrecho de S. Bernardino, que corre entre la isla de Luzon, y la de Samal.

El estrecho de Bali, al oriente de la isla d este nombre, entre ella, y la de Bomra.

El estrecho de Banca, entre esta isla, y la de Sumatra.

El estrecho de Sonda, entre la última, y la de Java.

El estrecho de Malacca, entre la isla de Sumatra, y la península de Malacca.

El estrecho de Ormus, por el qual comunican el golfo Pérsico, y el occeano Indio.

El estrecho de Babelmandel, que vá del último al golfo Arabigo.

Africa.

55 El Africa es una península unida al Asia por el istmo de Suez, de cuyo continente está separada por el mar Roxo: siendo sus demas límites, al oriente el occeano Indio, al sur el mar Meridional, al occidente el Atlantico, y al norte el Mediterráneo que la separa de la Europa. Está situada entre 37° de latitud norte y 35° sur, y la longitud de 10° occidental y 60° oriental de Cádiz. Su largo, del Cabo de Buena-esperanza á las costas del Mediterráneo, será de 1450 leguas: y su ancho

cho desde el cabo Verde al de Guardafui en el estrecho de Babelmandel de 1400.

56 Su division general es como sigue:

	PAISES	CIUDADES PRINCIPALES.	RIOS.	MONTES.	RELIGION.
	Abisinia.	Gondar.	Nilo.	. . . .	Cristiana.
	Ajan.	Brava.	Magadoxa. . .	. . . .	Gentil.
R	Angola.	Loanda.	Coanza.	Sunda.	Cristiana y Gentil.
R	Argel.	Argel.	Asafrán. . . .	Atlas.	Mahometana.
R	Barca.	Barca.	. . . .	. . . .	Mahometana.
R	Benguela.	Benguela. . . .	Negro.	Sunda.	Gentil.
R	Benin.	Benin.	Benin.	. . . .	Cristiana y Gentil.
	Biafara.	Biafara.	Camarones. . . .	. . . .	Gentil.
	Biledulgerid. . .	Rusera.	Dara.	Atlas.	Gentil.
	Cafreria.	Cabo de Buena-esperanza.	S. Cristoval. . .	Mesa.	Gentil.
R	Congo.	S. Salvador. . .	Zayre.	Sunda.	Cristiana y Gentil.
	Egypto.	Cairo.	Nilo.	Gianadel. . . .	Cristiana y Mahometana.
	Guinea.	Cabo de la costa.	Voltas.	Sierra Leona....	Gentil.
	Loango.	Loango.	Quila.	Espiritu Santo.	Cristiana y Gentil.
	Mandinga. . . .	Fuerte James. .	Gambia.	Cabo Verde. . .	Gentil.
I	Marruecos. . . .	Fez.	Mulvia.	Atlas.	Mahometana.
	Mataman. . . .	. . . .	Bravaul.	Sunda.	Gentil.
	Monoemugi. . .	Chicova.	Cuama.	Luna.	Gentil.
	Monomotapa...	Mogar.	Amara.	Luna.	Gentil.
	Tierra de Natal.	. . . .	Espiritu Santo..	Amara.	Gentil.
	Nigricia.	Tombute. . . .	Niger.	. . . .	Gentil.
	Nubia.	Nubia.	Nubia.	. . . .	Mahometana y Gentil.
	Sanhaga.	Sanhaga. . . .	Senegal.	. . . .	Gentil.
	Sofala.	Sofala.	Amara.	Amara.	Gentil.
R	Tripoli.	Tripoli.	Salinas.	Atlas.	Mahometana.
R	Tunez.	Tunez.	Megarada. . . .	Atlas.	Mahometana.
	Zaara.	Zuenziga. . . .	Nubia.	. . . .	Gentil.
	Zanguebar. . . .	Melinda.	Cuama.	. . . .	Gentil.

57 Muchos parages de las costas de Africa están sujetos á las naciones européas, que se han establecido en ellas, para el comercio de los esclavos, oro, y otros artículos. El Egypto pertenece á la Puerta Otomana, y todos los estados de la costa del Mediterráneo, á excepcion del de Marruecos, como son los de Trípoli, Tunez, y Argel se hallan baxo su proteccion.

58 Los nombres de la tabla comprehenden tambien muchas subdivisiones considerables, de que no hablarémos, porque, á excepcion de algunas partes en las cercanías del mar, es muy imperfecto el conocimiento que se tiene de este grande continente. Sin embargo, debe advertirse, que la que hemos denominado simplemente Guinea, es la Guinea alta ó propia, cuya costa se divide en costas de Malagueta, de los Dientes, del Oro, de los Esclavos ó de Ardre, y de Benin: y que la Guinea baxa, llamada tambien Congo, por su mayor division, contiene los quatro reynos de Congo, Loango, Benguela, y Argola.

59 En todos tiempos se ha distinguido una gran parte del Africa por el nombre de Ethiopia; pero con variedad de opiniones sobre la extension de sus países. En el dia, suelen los geógrafos darla por límites, el mar Roxo, la costa de Ajan, y el Zan-

Zanguebar al oriente, el Congo al occidente, el Monoemugi, y la Cafrería al sur, y el Egypto, y Zaara al norte. La misma Ethiopia moderna se divide despues, llamando alta á su parte mas septentrional y oriental, y baxa al resto.

60 Tambien se llama Berbería una gran parte del Africa comprehendida entre el occeano Atlantico, el mar Mediterráneo, el Egypto, y la Nigricia, á la qual corresponden varios estados: siendo los principales, los de Trípoli, Tunez, Argel, Fez, Marruecos, Tafilete, Biledulgerid, y el desierto de Barca.

61 Las islas africanas de mas nota son:

Islas principales.	Ciudades principales.	Islas principales.	Ciudades principales.
Socotora....	Calansia.	Madagascar...	San Agustin.
Comoras....	Juana.	De Francia, ó Mauricio....	Puerto Luis.
Borbon, ó Mascareñas..	San Dionisio.	Santiago, y demas del Cabo Verde......	Santiago.
Santa Helena.	Santa Helena.	Tenerife, y demas Canarias.	Santa Cruz de Tenerife.

Las

Las islas Canarias hacen parte de la monarquía Española, y son siete en número, nombradas Tenerife, Gran Canaria, Gomera, Palma, Fuerteventura, Lanzarote, y Ferro. La Gran Canaria, cuya capital se llama Canaria, es la principal de todas, porque en ella tiene su establecimiento el Obispo y Audiencia, pero el Comandante general reside en Santa Cruz de Tenerife.

Las de cabo Verde pertenecen al Rey de Portugal, las de Francia y Borbon á la Francia, y Santa Helena á la Inglaterra.

Ademas de las de la tabla se cuenta en el Africa la de la Madera, cuya capital es Funchal, y otras varias islas, pero todas de poca consideracion: siendo de este número las islas del Almirante en el occeano Indio, y las de la Ascension, S. Matéo, Anobon, Santo Tomas, Príncipe, Fernando de la Pó, y Gorea en el Atlantico.

Los principales mares y golfos del Africa son:

62 El occeano Atlantico, el Meridional, y el Indio la rodean, desde el estrecho de Gibraltar hasta el istmo de Suez, pero con direcciones tan rectas en las costas, que en todo este vasto espacio, se encuentran poquísimas entradas que merezcan distincion particular. Entre ellas se cuentan:

El mar Roxo, de que hemos hablado anteriorriormente, y pertenece tanto al Africa como al Asia.

El mar de Mozambique, entre el continente del Africa, y la isla de Madagascar.

El golfo de Sofala en el pais de este nombre.

El golfo de Guinea que penetra entre las costas de las dos Guineas.

El golfo de Arguin, donde se halla la isla de este nombre.

Los estrechos son:

63 El estrecho de Babelmandel, ya expresado, corresponde al Africa por la parte de este continente que lo forma.

El canal de Mozambique entre la isla de Madagascar, y el continente del Africa.

El estrecho de Gibraltar, comun al Africa y á la Europa.

America.

64 Este vasto continente, llamado con freqüencia el Nuevo Mundo ó las Indias occidentales, se extiende desde los 56° de latitud sur, hasta los 75° ó mas de latitud norte y en la parte que mejor se conoce desde los 30° hasta los 130° de longitud occidental de Cádiz. Su mayor largo po-

podrá ser de 2500 á 3000 leguas, y el ancho de unas 1200. Dividese en septentrional, y meridional.

La America septentrional se extiende, desde 11° de latitud norte hasta los parages mas próximos á este polo. Sus límites son, al norte el occeano Septentrional y países arcticos, al oriente el occeano Atlantico, al sur el golfo de México, y la America meridional, y al occidente el occeano Pacífico.

65 Los nombres de los diferentes países y ciudades que contiene su division general son los siguientes.

PAISES.	CIUDADES PRINCIPALES.	RIOS.	MONTES.	METROPOLI A QUE PERTENECEN.
Nueva Bretaña ó Labrador, Nuevo Gales, y pais de los Esquimós. . . .	Fuerte Nelson.. Fuerte Albania.	S. Juan. . . . . Alvania.	Del Norte. . . .	Inglaterra.
Canadá.	Quebec.	S. Lorenzo. . .	. . . .	Idem.
Carolina septentrional, y meridional. . .	Edenton. . . . . Charlestown...	Santi.	Apalaches. . . .	Estados unidos.
Delaware. . . .	New-Castle. .	Delaware. . . .	. . . .	Idem.
Nueva Escocia.	Halifax.	S. Juan.	Ladies.	Inglaterra.
Florida oriental, y occidental.	S. Agustin. . . . Panzacola. . . .	S. Juan.	Apalaches. . . .	España.
Georgia.	Savannah. . . .	Alatamalia. . .	Apalaches. . . .	Estados unidos.
Nueva Jersey..	Pert Amboy. . .	Passaick.	. . . .	Idem.
Nueva Yorck...	Nueva Yorck...	Hudson.	. . . .	Idem.

Nueva Inglaterra, ó Nuevo Hampshire, Massachuset, Isla de Rhoda, y Connecticut.	Portsmouth. . . Boston. . . . . . Newport. . . . Nuevo Lóndres	Thames. . . . . Patuxeut. . . . Merimac. . . . Connecticut. . .	Apalaches. . . .	Idem.
Luisiana.	Nueva Orleans.	Missisipi. . . .	. . . .	España.
Maryland. . . .	Annapolis. . . .	Patowmac. . . .	. . . .	Estados unidos.
México ó Nueva España. . .	México.	Pauuco.	Perote.	España.
Nuevo México.	Santa Fé. . . .	Rio Norte. . . .	Apaches.	Idem.
Pensilvania. . .	Filadelfia. . . .	Delaware. . . .	. . . .	Estados unidos.
Virginia.	Williamsburg. .	James.	. . . .	Idem.

66 La America septentrional española comprehende otras provincias considerables, como las de la Apacheria, California, Sonora, Sinaloa, Nueva Navarra, Nueva Vizcaya, Nuevo Reyno de Leon, Nueva Galicia, Mechoacan, Guatemala &c. que nos contentarémos con haber nombrado.

Los reynos de Nueva España tambien comprehenden las audiencias de México, Guadalaxara, y Guatemala, y la de Santo Domingo en las islas, que residen en las ciudades de estos nombres, y los dividen en quatro grandes jurisdicciones.

67 En los países de la dominacion española solo se profesa el catolicismo. En las colonias inglesas, y Estados unidos Americanos la verdadera re-

religion se halla mezclada con un gran número de diferentes sectas.

68 La America meridional se extiende desde los confines de la septentrional, ácia el polo del sur, hasta los 56°. Sus términos son, al norte el mar Caribe, al oriente el occeano Atlantico meridional ó Ethiopico, al sur el mar Meridional, y al occidente el occeano Pacífico.

69 Su division general es como sigue:

PAISES	CIUDADES PRINCIPALES.	RIOS.	MONTES.	METROPOLI A QUE PERTENECEN.
De las Amazonas.	. . . .	Amazonas. . . .	. . . .	No conquistado
Brasil.	S. Salvador. . .	S. Francisco. . .	. . . .	Portugal.
Chile.	Santiago. . . .	Valparaiso. . . .	Cordillera de los Andes. . . .	España.
Tierra firme, ó Nuevo Reyno de Granada. . . .	Santa Fé. . . .	De la Magdalena.	. . . .	Idem.
Guayana.	Sta. Maria de la Guayana. .	Orinoco.	. . . .	España.
	Surinam. . . .	Essequibo. . . .	. . . .	Holanda.
	Cayena. . . .	Maroni.	. . . .	Francia.
Tierras Magallanicas, ó de los Patagones. . . .	. . . .	Desaguadero. . .	Andes.	España, pero sin establecimiento.
Provincias del rio de la Plata. .	Buenos Aires. .	La Plata.	Andes.	España.
Perú.	Lima.	Chuquimayo. . .	Andes.	Idem.

70 En los mismos países se cuentan otras grandes subdivisiones, como las del Tucumán, Pa-

ra-

raguay, Quito, Popayán, Venezuela, Darién &c. de que no hablarémos particularmente.

71 La America meridional española, tambien se divide en las Audiencias de Santa Fé, Caracas, Quito, Lima, Chile, Charcas, y Buenos-Aires.

72 La religion católica es la dominante en toda la America meridional, á excepcion de los países en que se mantienen los naturales independientes, y la pequeña parte que pertenece á los Holandeses.

73 Las principales islas de America son:

Islas principales.	Ciudades principales.	Metropóli á que pertenecen.
Terranova.	Placencia. . . .	Inglaterra.
Real, ó de Cabo Breton.	Luisburg. . . .	Idem.
Cuba.	Havana.	España.
Jamaica.	Kingston.	Inglaterra.
Española, ó Santo Domingo.	Sto. Domingo.. Cabo Francés.	España y Francia.
Puerto-Rico.	Puerto-Rico....	España.

74 Desde Puerto-Rico hasta las bocas del Orinoco se extiende una cadena de islas, entre las quales son las mas considerables, la Trinidad, la Granada, San Vicente, la Barbada, Santa Lucía, la

Martinica, la Dominica, Marigalante, la Guadalupe, la Deseada, Antigua, San Cristoval, la Barbada, San Bartolomé, Santa Cruz, y San Eustaquio: todas poseidas por diferentes Potencias européas.

75 Todas las islas que corren en forma de arco, desde la Florida hasta el Orinoco, cerrando la entrada del golfo de México, tienen el nombre general de Antillas: y se dividen en grandes y menores. Las Antillas grandes son Santo Domingo, Cuba, la Jamaica, y Puerto-Rico: y las demas, que tambien se llaman islas de los Caribes, son las menores. Tambien suelen llamarse Antillas pequeñas ó menores, las islas de Curazao, Margarita y todas las demas situadas en las costas de Tierra-firme.

Las Lucayas ó de Bahama son un gran número de islas inconsiderables, que se abanzan, desde el canal de este nombre hasta el norte de la isla Española.

76 Ademas de las mencionadas, se cuentan en esta parte del mundo otras muchas islas que se hallan esparcidas por todas sus costas. De este número son, la de la Cayena en la Guayana, la de Santa Catalina en el Brasil, las de Falkland ó Maluinas, las tierras del Fuego é islas de los Estados en las costas Magallanicas, las de Chiloé, y Juan Fer-

Fernandez en la de Chile, las de Salomon en el occeano Pacífico, la de los Galapagos en el mismo mar sobre el equador, &c.

Los principales mares y golfos de esta parte del mundo son:

77 El occeano Septentrional y el Atlantico, que bañando las costas septentrionales y orientales forma:

La bahía de Baffin, que se extiende desde los 70° á los 79° de latitud.

La bahía de Hudson, entre la Nueva Bretaña y el Nuevo Gales.

El golfo de San Lorenzo, entre la Nueva Bretaña y la Nueva Escocia.

El golfo de México, entre las costas de Nueva España, la Luisiana, y la Florida.

La bahía de Campeche, que es una parte del golfo Mexicano situada en las costas de la península de Yucatán.

La bahía de Honduras, entre la península de Yucatan y las costas de Honduras.

El mar Caribe, en las costas septentrionales de Tierra-firme.

El mar Pacífico, al occidente de la America.

La bahía de Panamá, en el istmo del Darién.

El

El golfo ó bahía de California, entre la California y la costa de la Nueva Navarra.

Los estrechos son:

78 El estrecho de Davis, entre la isla James y la costa occidental de la Groenlandia.

El estrecho de Cumberland, entre las islas de Cumberland y de la Buena-fortuna.

El estrecho de Hudson, entre la isla de la Buena-fortuna y el norte de Labrador.

El estrecho de Belle-isle, que separa la Nueva Bretaña de la isla de Terranova.

El canal ó estrecho de Bahama, que corre entre las islas Lucayas y la Florida.

El canal viejo, que principia entre la punta de Maísi y la isla grande de Inagua: y es por donde las embarcaciones procedentes de las islas de barlovento, que no quieren hacer la derrota comun del sur, se dirigen, siguiendo las costas septentrionales de Cuba, hasta la Havana.

El estrecho de Magallanes, entre las tierras Magallanicas y las del Fuego.

El estrecho de Maire, entre las últimas y la isla de los Estados.

El estrecho de Beering, que ya indicamos.

DE

DE LA SITUACION DE LOS LUGARES en el globo terráqüeo, y de los círculos que se imaginan en él.

79 Siendo la Tierra de figura esférica, para fixar las posiciones de los diferentes puntos de su superficie, debe principiarse por establecer un círculo máxîmo á que referirlos. El exe sobre el qual dá el Cielo una vuelta aparente en veinte y quatro horas, pasando por el centro de la Tierra, señala dos puntos en su superficie cuya situacion es invariable. Estos son, pues, los que han parecido propios para determinar como polos el círculo susodicho, que llamámos *equador*, y aquellos puntos se nombran *polos de la Tierra*, ó simplemente polos. La direccion constante del imán es ácia uno de ellos.

80 El equador ó *línea equinoccial* dá la vuelta al globo, pasando sucesivamente por el medio del Africa, el mar Indio, las islas de Sumatra y de Bornéo, el mar Pacífico, la America meridional desde la provincia de Quito hasta la boca del rio Amazonas, y el mar Atlantico. La línea EQ lo *Fig.* 3.
representa.

81 El polo mas próxîmo á la Europa, P en la

la fig. 3, es el del *norte*, *septentrional*, *boreal*, ó *arctico*: y el opuesto *p* el del *sur*, *meridional*, *austral*, ó *antarctico*. Los dos hemisferios en que divide á la Tierra el equador se distinguen por estos polos.

82 Tirando desde qualquier lugar, ó punto de la superficie del globo, un arco de círculo máxîmo perpendicular al equador, este es el que mide la latitud; y asi *latitud* es la distancia en grados de círculo máxîmo desde un lugar al equador. Quando el lugar está al norte del equador, se llama latitud norte, y sur al contrario. En la figura, L *l* es la latitud de L.

83 Por la misma definicion se vé, que nunca puede haber mas de 90° de latitud, porque no hay mas desde el equador hasta los polos donde todas las latitudes se confunden. Asi, en el equador no se cuenta latitud alguna, y en los polos, donde llega á su máxîmo, es de 90°.

84 Nombránse *meridianos* todos los círculos máxîmos que pasan por los dos polos, y en el que se halla un lugar se dice su meridiano.

85 Todos los lugares situados ácia el mismo polo y en igual latitud, se hallan colocados en la circunferencia de un círculo menor de la esfera paralelo al equador. Estos círculos se llaman *paralelos*

de

de latitud ó simplemente paralelos, y particularmente paralelo de un lugar el que pasa por él. En la fig. 3 se han señalado varios.

86 La latitud determina el paralelo del lugar, pero, conservando la misma latitud, podria darse una vuelta á la Tierra, y para fixar su posicion resta saber en qué punto de la circunferencia de aquel círculo se halla colocado, esto es, qué meridiano de los infinitos que pueden trazarse sobre el globo, pasa por dicho punto. Con este objeto, se elige un meridiano conocido que sirve de término de comparacion, para averiguar las distancias que lo separan de los demas, que es lo que se llama *longitud*. Siendo, por exemplo, P M *p* el meridiano establecido, y P L *l p* el de un lugar L, M *l* es la longitud de este.

87 Dícese longitud en oposicion á la latitud, porque en tiempo de Hipparco, que es el que discurrió este modo de situar los lugares, la mayor dimension de la Tierra conocida era la de occidente á oriente.

88 Las longitudes pueden contarse de M ácia E ó ácia Q, hasta completar en M dando la vuelta los 360° del círculo. Muchos geógrafos cuentan asi las longitudes, de occidente á oriente, esto es, suponiendo que P es el polo del norte, desde M ácia

Q: otros las cuentan desde M ácia una y otra parte hasta los 180°, y entonces expresan quando la longitud es oriental, ó que el meridiano del lugar, como PQp, se halla al oriente de PMp, y quando occidental, como en el meridiano $PLlp$. Pero estos diferentes modos de explicarse no dificultan la inteligencia, porque basta tener idéa clara de lo que es longitud, para reducirlo al que cada uno sigue. Lo mismo es, por exemplo, 350° de longitud en el primer método, que 10° de longitud occidental en el segundo.

89 El primer meridiano, ú origen de las longitudes, es absolutamente arbitrario y de pura convencion, porque ni el Cielo ni la Tierra presentan un fenómeno constante ó término fixo para las longitudes como el equador para las latitudes. Por conseqüencia, la eleccion del primer meridiano ha variado continuamente, y aun en la actualidad no se halla establecida entre todos los geógrafos. Los españoles solian tomar el que pasa por el pico de Tenerife; pero en el dia la Marina Real usa con mas freqüencia el de Cádiz. Los Franceses, segun una declaracion de Luis XIII en 1634, deben fixarlo al extremo de la isla del Fierro, que es la mas occidental de las Canarias; pero otros con el famoso Mr. de l' Isle suponen, completando

los

los 19° 55′ 45″, que aquel meridiano dista de París, que la longitud de esta Corte es de 20° justos: y otros fixan el primer meridiano en ella. Los Ingleses varían entre sí del mismo modo, haciéndolo pasar, ya por cabo Lizard, ya por el observatorio de Greenwich, ya por Lóndres. Cada nacion en fin, y aun cada geógrafo tiene su uso peculiar, pero esta diversidad no produce inconveniente alguno, con tal que se ponga bastante atencion para libertarse de equivocaciones.

En las Cartas marinas, tambien se reunen los meridianos mas generales con escalas contadas desde cada uno de ellos, y ciertamente esto es lo mejor, para hacerlas mas fáciles á todas las naciones, mientras una convencion general fixa el mismo término para todas.

90 Debe notarse, que la longitud, ó distancia al primer meridiano, se mide tanto en el equador como en los paralelos, y que los grados de estos son mas pequeños en el mismo respecto que los interválos entre los mismos meridianos se hacen menores con la proxîmidad al polo. Se ve, por exemplo, que desde *l* á M hay tantos grados como desde L á *m*; y que asi, todos los lugares, que se hallan en el mismo meridiano, tienen exâctamante la misma longitud. La distancia al equador no la

altera, por consiguiente, pero sí influye en el camino que es necesario andar, para mudar de meridiano ó de longitud; pues es claro, que aquella debe disminuir á proporcion que se aumenta la proxîmidad al polo; y que asi, por grande que sea el volumen del globo terráqüeo, podrán asignarse paralelos en que, con un pequeño número de leguas ó millas, se varíe qualquiera cantidad de longitud determinada.

91 La medida de la longitud en grados es la mas general, y la que se usa en los Mapas ó Cartas; pero algunos astrónomos, que determinan comunmente las longitudes por comparaciones de horas, emplean el tiempo para expresar las diferencias de meridianos. Segun este método, veinte y quatro horas hacen 360° ó el giro de la Tierra: una hora 15° &c.; y asi, en un lugar que está á 3° de longitud, se dice que la diferencia de meridianos es de 12′ de tiempo. En la Astronomía se verá la razon de esta equivalencia (170).

92 La latitud que determina el paralelo del lugar, y la longitud que señala el preciso punto de este círculo donde se halla, fixan su posicion absoluta; y, por conseqüencia, no puede haber mas que un punto con la misma longitud y latitud. Los paralelos y meridianos son, pues, los círculos ab-

absolutamente indispensables para situar los lugares; pero tambien se imaginan en el globo otros que debemos considerar desde ahora.

93 Entre los paralelos se distinguen particularmente los dos que se hallan á $23^{\circ}\frac{1}{2}$ del equador; porque, desviándose el Sol en el curso de un año ácia una y otra parte, aquellos círculos son los términos de su mayor proxîmidad á ambos polos. Por esta razon se les llama *tropicos*. El tropico de *Cancer* es el del hemisferio del norte, y el de *Capricornio* el del sur. El tropico de Cancer pasa por la costa occidental del Africa á corta distancia del monte Atlas, y despues por la Ethiopia, el mar Roxo, la Arabia dichosa, el extremo de la Persia, la India, la China, el mar Pacífico, el reyno de México, el septentrion de la isla de Cuba, y el mar Atlantico. El tropico de Capricornio, pasa por el país de los Hotentotes en el Africa, y en America por el Brasil, el Paraguay, y el Perú. En la fig. 3, TC y *tc* son los tropicos.

94 Dos paralelos, que se consideran á tanta distancia de los polos, como los tropicos del equador, esto es á $66^{\circ}\frac{1}{2}$ de este se llaman *círculos polares*, y se distinguen por los nombres de los polos de sus respectivos hemisferios. OR y *or* son los círculos polares.

Los

95 Los tropicos y los círculos polares dividen la superficie de la Tierra en cinco zonas, faxas, ó bandas circulares: que son, la *zona torrida*, las dos *zonas templadas*, y las dos *zonas frias* ó *heladas*.

96 La zona torrida comprehende todo el espacio que se halla entre los dos tropicos. TCQ*ct*ET la señala en la fig. 3.

97 Las zonas templadas se extienden, desde los tropicos á los círculos polares. La una desde el tropico de Cancer ácia el norte hasta 23° $\frac{1}{2}$ de este polo, y la otra á 43° de distancia al sur del tropico de Capricornio. ORCTO, *orcto* son las dos zonas templadas.

98 Las zonas frias ó heladas se extienden, desde los círculos polares, hasta los polos de sus correspondientes hemisferios. Pero, á pesar del terrible nombre de estos espacios, que parecen contrarios á la vida, en la zona fria arctica se hallan muchos países habitados, como son la Siberia, Laponia, y Groenlandia: y la especie humana, contra la general opinion de los tiempos, en que los conocimientos de la Geografía eran tan imperfectos como limitados, se encuentra esparcida por todas las zonas de la Tierra. OPR, *opr* son las zonas frias.

99 En la Astronomía se indicarán las distincio-

ciones caracteristicas de las varias posiciones de los lugares en la superficie de la Tierra. Estas resultan de los movimientos celestes ; y asi podrán comprehenderse facilmente, quando se hayan ya formado ideas de los fenómenos que presenta el Cielo. Por ahora convendrá considerar el globo terráqüeo, como una esfera colocada en la infinita extension del Universo, ciñendo nuestra atencion al estado de reposo en que nos parece todo el mundo, quando lo recorremos prontamente con la vista.

100 En qualquier instante, en que se mire el Cielo desde un lugar desembarazado, parece que nos hallamos en el centro de un hemisferio ó mitad de esfera, y se concibe naturalmente, que, teniendo visible la que está sobre nuestra cabeza, exîste tambien su continuacion ó la mitad que está debaxo. Una y otra forman la que llamamos *esfera celeste*, y el círculo que separa la parte visible de la que no lo es, es el *horizonte* : con cuyo nombre se distinguen, el *horizonte matemático* ó *racional*, y el *sensible*.

101 Sea T la Tierra, L y L′ dos puntos opuestos de su superficie. Si, por los dos puntos L, y L′ se conciben dos planos tangentes á ella, estos serán perpendiculares al mismo diámetro L T L′, y paralelos entre sí ; y si se imaginan prolongados por to- *Fig.* 4.
das

das partes hasta el Cielo, formarán las secciones circulares HOREH, H'O'R'E'H', que determinarán los horizontes sensibles de L, y L'. Un ojo colocado en L no puede vér mas que la parte superior al plano HOREH, porque la superficie de la Tierra le tapa la que está debaxo: y al contrario, desde L', no puede percibirse, sino lo que está desde H'O'R'E'H' ácia N. Entre estos dos horizontes hay, pues, un espacio ó zona oculta, tanto para el observador situado en L, como para el que se halla en L': y esta diferencia de horizontes es rigorosamente verdadera en qualquier caso, suponiendo siempre el ojo del habitante de la Tierra en la misma superficie. Pero el diámetro LL' es tan corto en comparacion de la distancia de la Tierra á las estrellas, que el arco HH', comprehendido entre ambos horizontes, es absolutamente insensible; de modo que, sin error, puede tomarse uno por otro, y ambos por uno solo que pase por el centro T de la Tierra: y este es el que llamamos propiamente horizonte racional.

102 El horizonte racional es, pues, un plano que pasa por el centro de la Tierra paralelo al horizonte sensible que toca la superficie de la Tierra en el punto donde se supone el ojo. Y como todas las estrellas nos parecen á igual distancia de noso-

tros

tros en una esfera cóncava, la interseccion del horizonte con la superficie celeste debe ser la periferia de un círculo, y el horizonte racional (que es el que en adelante entenderémos por el solo nombre de horizonte) un círculo máximo de aquella esfera.

103 El horizonte se divide por dos líneas, que señalan los quatro *puntos cardinales* del norte sur, oriente y occidente. La interseccion del plano del meridiano con el del horizonte determina los del norte y sur, segun el polo á que corresponde cada extremo: y una perpendicular á ella, dirigida por el centro del horizonte, señala el oriente, que cae á la derecha quando se mira ácia el norte, y el occidente á la parte opuesta.

104 Si por un punto ó lugar L y el centro de la Tierra T, se imagina una recta TLZ, esta será perpendicular al horizonte, y los puntos Z y N en que encuentra á la esfera celeste, serán los polos del horizonte. El que está superior, ó encima de la cabeza del observador, se llama *zenit*, y el inferior *nadir*. Z es el zenit para un habitante situado en L, y N el nadir; pero otro habitante que se halle en L′ tendrá al contrario el zenit en N, y el nadir en Z.

105 Por razon de ser la Tierra de figura es-

férica se ve claramente, que cada punto de su superficie tiene diferente zenit y nadir; y como, la línea del zenit al nadir es la vertical línea de aplomo ó direccion que siguen los cuerpos en virtud de su gravedad, resulta que las que explicamos al decir superior é inferior, arriba ó abaxo, son idéas relativas á nuestra actual situacion, procedentes de una ley constante y general distinta de la que se nos ocurre á primera vista. Viendo en los países que habitamos, que los cuerpos caen perpendicularmente
Fig. 5. á la superficie de la Tierra, esto es de Z ácia L, siguiendo direcciones paralelas á LZ, naturalmente concluimos, que los que están en las proximidades de la parte opuesta L′ deberian caer tambien segun L′Z′, y de L′ ácia Z′. Pero sucede todo lo contrario, porque la misma causa que atrae ó hace caer segun la ZLT á un cuerpo puesto en Z, hace caer segun Z″lT al colocado en Z″, y segun Z′L′T al que está en Z′; y de aqui procede, que todas las partes de la Tierra y de las aguas, por su atraccion ó tendencia comun al punto T, se contrapesan y mantienen mutuamente en equilibrio al rededor del mismo centro. Asi, los habitantes que están en el mismo círculo máximo de la Tierra que nosotros, pero distantes de 180°, esto es, que corresponden al extremo opuesto del diámetro terrestre, tienen sus pies

pies opuestos á los nuestros: y sin embargo, no podemos decir con propiedad que estén debaxo y nosotros encima, porque ellos podrian explicarse en los mismos términos, y que inclinándonos todos ácia el centro de la Tierra, este es el mas baxo, y todos los puntos de la superficie están superiores, ó sobre él, á igual distancia. En una palabra, no hay nada en alto, sino lo que está ácia el Cielo, ó es contra la direccion de la gravedad, y nada en baxo sino lo que se halla ácia el centro de la Tierra, ó es conforme á aquella direccion. El globo terrestre es, respecto á los cuerpos que están en su superficie, poco mas ó ménos lo que una piedra imán á muchos pedazos de fierro puestos en su superficie ó cercanias. Todos los cuerpos que rodean la Tierra tiran á precipitarse ácia el centro; y asi podemos dar la vuelta á nuestro globo, como lo han hecho muchos navegantes; porque esta causa, sean los que fueren sus resortes, y llámese atraccion, pesadez ó gravedad, nos pega ó une á su superficie continuamente y en todas partes.

Esta propiedad, por la qual se esfuerzan todas las de la masa del globo á aproxîmarse al punto medio de ella, es análoga á la que causa que todas las particulas de una gota de agua se dispongan, de modo que el todo forme una figura redonda. Tenienniendo cada corpusculo una potencia que le aproxîma á todos los que se hallan en sus proxîmidades, el conjunto de ellos no puede quedar en reposo, hasta que todas las fuerzas estén mutuamente equilibradas: lo que solo puede suceder, quando las partes mas exteriores se hallen igualmente distantes unas de otras, ó del centro de la masa, esto és, quando se hayan arreglado en figura esférica. Asi, pues, puede darse la razon, por la qual todos los cuerpos de las cercanías de nuestra superficie se inclinan ácia el mismo punto, y concebirse como toda la materia de la Tierra se ha dispuesto formando una casi perfecta esfera: sin que su rigorosa figura lo contradiga, porque, ademas de que la diferencia es despreciable, en adelante verémos, que la misma gravedad, ó atraccion, entra como causa en la explicacion física del aplanamiento de nuestro globo.

DE LAS VARIACIONES QUE OCURREN con la mudanza de lugares.

106 Se ha visto, que pasando de un punto á otro sobre la superficie del globo, no puede conservarse la misma longitud y latitud. Si se camina en la direccion del meridiano, la longitud continúa la misma,

ma, pero la latitud varía; y si se mantiene la misma latitud, porque la distancia andada es en un paralelo, resulta en la longitud una alteracion, tanto mas considerable, quanto mayor es la distancia á que se está del equador. Fuera de estos casos particulares se muda al mismo tiempo de latitud y longitud, y en todos generalmente, solo se necesita averiguar en que se diferencian las longitudes y latitudes de dos lugares, para saber sus posiciones relativas ó la diferencia de sus situaciones. Todas las qüestiones que pueden ofrecerse sobre este punto se reducen, pues, á quatro problemas.

107 *Dadas las latitudes de dos lugares, hallar su diferencia.*

1.° Quando ambas latitudes son de la misma denominacion, esto es, que se cuentan en el mismo hemisferio.

Restese la menor latitud de la mayor, y el residuo es la diferencia de las latitudes.

EXEMPLO. Latitud de Madrid.	40°	25′	00″	N.
Idem de Cádiz.	36	31	07	N.
Diferencia.	3	53	53	

2.° Quando las latitudes son de contraria denominacion, ó corresponden á partes opuestas del equador;

Su-

Sumense las dos latitudes, y la suma es la diferencia en latitud.

EXEMPLO. Latitud del cabo de Buena-esperanza.	33°	55′	15″	S.
Idem del cabo de Finisterre.	43°	15	00	N.
Diferencia.	77	10	15	

108 *Dada la latitud de un lugar y su diferencia de latitud con otro, hallar la latitud de éste.*

1.° Quando la latitud dada y la diferencia de latitud son de la misma denominacion, esto es, que la diferencia es ácia el polo del hemisferio en que se cuenta la latitud:

A la latitud dada añadase la diferencia de latitud, y la suma es la que se busca, de la denominacion de la primera.

EXEMPLO. Un navio navegó desde la latitud N de 38° 10′ hasta que su diferencia en latitud con esta fué de 12° 32′ al norte ¿quál es la latitud á que ha llegado?

Latitud del primer término. . . .	38°	10′	N.
Diferencia.	12	32	N.
Latitud en que se halla.	50	42	N.

2.° Quando la latitud y la diferencia dadas son de denominacion contraria:

To-

Tomese la diferencia entre la latitud, y la diferencia en latitud dadas, y el residuo es la latitud que se busca, de la misma denominacion que el mayor de los datos.

EXEMPLOS. Una embarcacion, saliendo de la isla de Santa Helena, navegó ácia el norte, hasta que la diferencia en latitud entre el punto en que se halla y el de la salida resultó de 9° 27'.

Latitud de Santa Helena.	15°	55'	S.
Diferencia en latitud.	9	27	N.
Latitud llegada de la embarcacion.	6	28	S.

Otra embarcacion salió de cabo Verde, y navegó al sur 1074 millas, ó minutos de círculo máximo terrestre:

Latitud de cabo Verde.	14°	43'	45"	N.
Diferencia de latitud $\frac{1074}{60}$.	17	54	00	S.
Latitud de la embarcacion.	3	10	15	S.

109 *Dadas las longitudes de dos lugares, hallar su diferencia en longitud.*

1.° Quando la longitud se cuenta de occidente á oriente hasta los 360°:

La diferencia de las dos longitudes es la que se busca.

Lon-

Longitud de Amsterdam, tomando el de Cádiz por primer meridiano.	10°	07′	45″	oriental.
Idem de París.	8	36	15	oriental.
Diferencia en longitud.	1	31	30	

2.° Quando las dos longitudes se cuentan del primer meridiano á oriente y occidente:

Añadanse las dos longitudes, y la suma es la diferencia en longitud; pero, si esta suma excede 180°, restese de 360°, y el residuo es la diferencia en longitud que se desea.

EXEMPLOS. Longitud de la Havana respecto á Cádiz.	76°	07′	30″	occident.
Idem de Tolon.	12	7	22	oriental.
Diferencia de meridianos.	88	14	52	

Longitud de Cartagena de Indias.	69°	15′	15″	occident.
Idem de Manila.	127	04	24	oriental.
Suma.	196	19	39	
	360			
Diferencia de meridianos.	163	40	21	

3.° Quando la longitud se cuenta en tiempo.

Sirven las reglas antecedentes, substituyendo, para convertir en grados la diferencia de meridianos hallada en tiempo, 15° por cada hora, 15′ de grado por cada minuto de tiempo, &c.

EXEM-

EXEMPLO. Diferencia de meridianos de dos lugares en tiempo. . . . . $3^h\ 13'$

	$3^h = 45^\circ\ 00'$	
	$13' = \ \ 3\ \ 15.$	
Diferencia en longitud en grados. . .	$48\ \ 15.$	

110 *Dada la longitud de un lugar y la diferencia de longitud entre este y otro, hallar la longitud del segundo.*

1.° Quando la longitud y diferencia de longitud dadas son de la misma denominacion, esto es, siendo ambas al oriente ú occidente del primer meridiano:

La suma de los datos es la longitud que se busca.

EXEMPLO. Un navio tomó el punto de su salida desde el cabo de Finisterre, y navegó al occidente hasta variar su longitud de 9° 45′ ¿quál es la longitud á que llegó?

Longitud del cabo Finisterre. . . .	3°	07′	30″	occident.
Diferencia en longitud.	9	45	00	occident.
Longitud llegada.	12	52	30	occident.

2.° Quando la longitud y diferencia dadas son de contraria denominacion:

La diferencia de los datos es la longitud que se busca, de la denominacion del mayor.

EXEMPLO. Una embarcacion, desde que se halló en el meridiano del cabo de San Vicente, navegó al oriente, hasta que su diferencia de longitud con aquel término fué de 9° 35′ ¿quál es la longitud entonces?

Longitud del cabo de S. Vicente.	2°	21′	occidental.
Diferencia en longitud.	9	35	oriental.
Longitud llegada.	7	14	oriental.

111 Un observador, que moviéndose sobre la superficie del globo terrestre varía de longitud ó de latitud ó de ambas cosas al mismo tiempo, muda tambien horizonte; por consiguiente zenit y nadir, y generalmente todas las referencias entre su primera posicion y los demas puntos del globo. Así, en los antipodas antécos y periécos, que son distinciones de situaciones relativas, se pueden considerar tantas alteraciones, quantos puntos diferentes se noten en la distancia caminada. Antes, pues, de concluir esta seccion, en que nos hemos propuesto tratar de estas relaciones, convendrá decir alguna cosa sobre las que aquellos nombres significan.

112 Dos puntos ó países de la Tierra diametralmente opuestos, esto es, colocados á los extremos de una línea recta que pasa por el centro de la Tierra, tienen su horizonte en el mismo plano, y son

son *antipodas* reciprocamente uno de otro. Los antipodas de Cádiz están en la nueva Zelanda, y todo el resto de la Europa los tienen en las cercanías de aquellas tierras australes, cuyo cabal conocimiento se debe á los últimos viages executados al rededor del mundo y en particular á los del célebre Cook. Ilustre capitan inglés, cuya memoria será eterna, si las revoluciones de los siglos no destruyen absolutamente la Navegacion y Geografía, y que ningun amante de la humanidad podrá nombrar, sin manifestar un vivo interés en su catastrofe y su gloria.

113 Los habitantes que, aunque no diametralmente opuestos, están uno al sur y otro al norte del equador en el mismo meridiano y en latitudes iguales, se llaman *antécos.*

114 Los que están en puntos diametralmente opuestos del mismo paralelo son los *periécos.*

Asi se ve que los antipodas de un pais son periécos de los antécos de éste, y antécos respecto á los periécos del mismo pais.

DE LOS MAPAS Ó CARTAS.

115 Las representaciones que se hacen del globo en una superficie plana, para imitar, colocando

en ella todos los lugares, la situacion de los países que se hallan sobre la superficie de la Tierra, son las que se llaman *Mapas*, *Cartas*, ó *Proyecciones geográficas.*

116 Al emprender la execucion de estas proyecciones, se tropieza con la dificultad, de que, siendo la Tierra esférica, solo en un globo pueden representarse sus partes en situaciones semejantes á las que ocupan realmente. Las Cartas ó superficies planas no pueden presentar una similitud perfecta, porque todas las partes del globo terrestre no están en el mismo plano. Pero en la construccion de las Cartas, se busca ménos esta perfecta semejanza que el artificio que las hace propias para ciertos usos. Nosotros, sin estar en un exámen por menor de las diferentes invenciones y usos de los geógrafos, apuntarémos solo lo que nos parezca mas indispensable en el asunto.

117 Imaginando un plano qualquiera, pueden referirsele las porciones que convengan de la superficie del globo, tirando líneas de cada punto de esta á otro del plano: y se ve que, de este modo, podrán resultar una multitud de proyecciones diferentes, segun el orden que se observe en las direcciones de las líneas al plano y posicion de este. La mas simple de todas es la formada por líneas per-

perpendiculares al plano de la proyeccion, que entonces se llama *ortográfica*; pero, teniendo el inconveniente de ser muy defectuosa, en las Cartas de alguna extension se usa de otra especie de proyeccion, siempre que quieren describirse porciones considerables del globo ó hacer un *Mapamundo* que represente la Tierra en dos hemisferios, que suelen dividirse por el primer meridiano. Esta proyeccion, que se llama *estereográfica*, es la que desfigura ménos la disposicion natural de los continentes, como puede verse por los siguientes principios de su construccion.

118 Suponese, que un ojo, colocado en un punto de la Tierra, mira sus diferentes partes, como si la masa del globo fuese transparente: y, concibiendo por el centro de la Tierra un plano perpendicular al radio que se termína en el punto donde se supone el ojo, se imagina que las líneas tiradas de todos los puntos de la parte opuesta del globo cortan el plano en otros tantos puntos, que trazan en él una perspectiva de la porcion del globo de donde parten. Esta perspectiva es el Mapamundo, ó Mapa particular de la mitad ó porcion del globo que se necesita: y los principios de su construccion se fundan principalmente en este lema.

119 Sea VBESD un cono qualquiera, cuya *Fig. 6.*
ba-

basa es el círculo BESD, BVS la seccion triangular de este cono por un plano perpendicular á la basa dirigido por el exe ó recta que vá del vértice al centro de la basa. Si se concibe este cono cortado por un plano perpendicular á BVS, que forma la seccion GLHC, de modo que los ángulos VHG, VGH sean iguales á VBS, VSB, la seccion GLHC será un círculo.

Demostracion. Concíbase un plano paralelo á la basa, conducido por un punto qualquiera de esta seccion como L, el qual, formando la seccion ALFC encuentra la GLHC en la recta CKL. Siendo esta recta la interseccion comun de dos planos GLHC, ALFC perpendiculares al mismo plano VBS, tambien será perpendicular á VBS, y consiguientemente á las dos rectas GH, AF, que son las intersecciones de los dos primeros planos con el último. Las AF, y GH deben, ademas, cortar las dos secciones, cada una en dos partes iguales, por coincidir el plano BVS con el exe del cono; y siendo LK perpendicular al diámetro AF de la seccion ALFC, que es evidentemente un círculo, debe ser media proporcional entre AK, y KF; y por conseqüencia $AK : KL = KL : KF$, ó $KL^2 = AK \times KF$. Pero los triángulos AKG, HKF son semejantes, por ser, segun la suposicion, el ángugulo VHG igual á VBS, y por consiguiente á VAF; luego AK : KH = GK : KF y AK × KF = = KH × GK; y KH × GK = KL^2. Asi, KL es media proporcional entre las dos partes del diámetro HG; y habiéndose tomado el punto L arbitrariamente, la curva GLHC, que tiene la misma propiedad en todos sus puntos, es un círculo.

120 Sentado este principio, sea BESD un círculo formado, cortando la esfera con un plano qualesquiera. Sea V un punto de la superficie de esta esfera, de donde un ojo mira la seccion BESD, por medio del plano APMO, que se supone transparente y situado de tal modo, que la recta VT, conducida del ojo al centro T de la esfera, le sea perpendicular. Es evidente, que los rayos visuales dirigidos de la circunferencia BESD al ojo forman un cono, que, penetrando el plano APMO, trazan en él la perspectiva ó proyeccion GLHC de la misma circunferencia. Ahora verémos, que esta proyeccion es siempre un círculo, con tal que el punto V sea de la superficie de la esfera. *Fig. 7.*

Supongamos, que del punto V se haya tirado la VT perpendicular al plano APMO, y que por esta recta y el centro de la seccion BESD se conduzca un plano. Este formará en la superficie de la esfera el círculo máximo VMNA, en el cono el

tri-

triángulo VBS, y en el plano APMO el diámetro ATM. El plano del círculo máximo VM NA, pasando por la recta VT y por el centro de la seccion BESD es perpendicular á APMO y á BESD, y estos dos planos recíprocamente perpendiculares al plano VMNA, y por conseqüencia al plano VBS que pasa por el exe del cono. Ademas, los ángulos VHG, VGH son iguales á VBS, VSB, porque la medida de VSB es, por exemplo, la mitad de VANB y la de VGH la mitad de VM, ó VA mas la mitad de ANB, esto es, la mitad de VANB; luego la proyeccion GLHC es un círculo, por el lema antecedente.

121. Para trazar, pues, la proyeccion GLHC, solo es necesario hallar el método de determinar los extremos G, H de su diámetro. Para esto si se concibe el radio VT, prolongado hasta N, el ángulo TVG quedará determinado, por ser igual á la mitad del arco NB, que mide la distancia del punto B al punto de la esfera opuesto al ojo. Asi, siendo el triángulo TVG rectángulo, y conociendo por otra parte la distancia VT del ojo al plano de proyeccion, será siempre facil hallar el valor de TG, ya construyendo un triángulo semejante, ya por el cálculo trigonométrico. Por el mismo camino se ve, como puede servir el triángulo TVH, cuyo án-

ángulo TVH tiene por medida la mitad de la distancia SN, para determinar TH.

122 Para aplicar estos principios á la construccion de un Mapamundo ó Carta que deba abrazar un grande espacio : concíbase que MPD*p* sea *Fig.* 8. un meridiano, como por exemplo el primer meridiano, P, *p* los dos polos, y *m*P*dp* otro meridiano que forma con el primero el ángulo qualquiera *m*PM. Suponiendo el ojo en el punto O de la superficie de la esfera, que corresponde perpendicularmente al centro, el círculo OMQD tirado por OT y perpendicular á los dos meridianos MPD*p*, *m*P*dp*, será el equador. El arco M*m* medirá, pues, la longitud del meridiano *m*P*dp*, y el arco *m*Q, cuya mitad es la medida del ángulo *m*′OT, que determina el vértice *m*′ de la proyeccion *m*′S*d*′*n* del meridiano *m*P*dp*, será el complemento de la longitud de este meridiano. Por lo que toca al punto *d*′, puede hallarse facilmente, notando, que, siendo *md* un diámetro de la esfera, el ángulo *m*O*d* es recto. Y así se ve, que, para trazar los meridianos en la proyeccion estereográfica, deberá procederse del siguiente modo.

Habiendo tomado arbitrariamente una recta qualquiera TO para representar el radio de la Tierra, descríbase el círculo OMRD, que represen- *Fig.* 9.

tará el primer meridiano. Tírense en el centro T las perpendiculares OR, MH, y divídase este círculo en grados, principiando desde el punto M. Suponiendo ahora, que RO represente el exe de la Tierra ó diámetro que vá de polo á polo, el diámetro MD representará el equador; porque, pasando su plano, segun la suposicion, por el ojo, la proyeccion de aquel círculo no puede ser otra cosa que una línea recta. Y de este modo resultará que:

123 Para tener la proyeccion de un meridiano conocido, deberá tomarse en el primero contando desde M el arco MN, igual á la longitud del meridiano dado, y tirando NO que encuentra á MD en L, el punto L será uno de los extremos de su diámetro. En el punto O se elevará despues la perpendicular OH á NO, la qual, cortando la prolongacion de MD, determinará en H el otro extremo del diámetro LH de la proyeccion deseada. Asi, describiendo un círculo con este diámetro, la porcion RLO, terminada en el exe RO, representará la mitad del meridiano que está á la otra parte del plano de proyeccion, respecto al ojo.

De esta construccion se deduce un método facil, para hallar el diámetro de la proyeccion de un meridiano qualquiera. Siendo la mitad del arco

NR

NR la medida de NOB, este ángulo es igual[1] á $\frac{MR-MN}{2} = \frac{90^\circ - MN}{2} = 45^\circ - \frac{MN}{2}$, y tomando por radio la recta OT que representa el de la Tierra, LT será la tangente de LOT ó de $45^\circ - \frac{MN}{2}$; y como TOH es el complemento de LOT, y TH es entonces la tangente de TOH, TH será tambien la cotangente de $45^\circ - \frac{MN}{2}$.

Así,

(1) Aqui y siempre en adelante supondrémos la inteligencia de los signos algebráicos, que ahorran palabras y no pueden producir obscuridad. $+$ significa mas ó suma: por exemplo, $a+b$ es lo mismo que la adiccion de a y b, $-$ quiere decir que la cantidad que sigue á este signo está restada de las otras: por exemplo, $a-b$ significa el residuo que queda de a substrayendo b, $=$ manifiesta igualdad: por exemplo, $a=b$ es lo mismo que decir que a es igual á b, un . ó $\times$ es signo de multiplicacion; y asi $4 . 5$, 6×8, $a . b$, $c \times d$, y en las cantidades literales ab, ó cd simplemente manifiestan el valor del producto de 4 por 5 &c., $>$ significa que la cantidad puesta al lado de la abertura es mayor que la otra: por exemplo $a > b$, quiere decir que a es mayor que b, y $b < a$ lo mismo, ó que b es menor que a. Asi, quando se hayan de dar demostraciones ó reglas generales solo emplearémos cantidades literales, á las que podrá acostumbrarse el principiante que no las conozca, atendiendo á que a, b, c &c. entran en el cálculo del mismo modo que los números.

Asi, siendo LH, que es el diámetro de la proyeccion igual á $LT + TH = \text{tang.}\left(45^\circ - \frac{MN}{2}\right)$ $+ \text{cotang.}\left(45^\circ - \frac{MN}{2}\right)$, y atendiendo á que el arco MN representa la longitud del meridiano, resulta, que la dimension del diámetro de la proyeccion de qualquiera meridiano podrá hallarse por la siguiente regla:

Sumense la tangente y cotangente de la diferencia entre 45° y la mitad de la longitud del meridiano: y la suma dará el diámetro del meridiano en la proyeccion estereográfica.

Fig. 10. 124 Por lo que toca á los paralelos, si se supone que MRDN sea el primer meridiano, los paralelos al equador, representado por ERQN, serán círculos como POLB perpendiculares á MRDN. Imaginando, pues, por los puntos P, y L, en que el círculo EMQD perpendicular al primer meridiano corta el paralelo, los rayos visuales LE, y PE, éstos prolongados, si es necesario, determinarán en MD ó su continuacion el diámetro CH del círculo COHB, que será la proyeccion del paralelo; y de ésta, la porcion BHO terminada en el primer meridiano será la proyeccion de la mitad del paralelo comprehendida en el hemisferio opuesto al en que

que se supone el ojo. Asi, los extremos del diámetro C, y H se determinarán facilmente, atendiendo á que HT es el lado de un triángulo rectángulo HET, en el qual el ángulo HET opuesto á este lado tiene por medida la mitad de PQ, esto es, la mitad de la latitud, y el lado TE adyacente al mismo ángulo es igual al radio de la esfera. CT es tambien el lado de un triángulo rectángulo CTE, en el qual el ángulo CET opuesto á este lado es la mitad de QPL, esto es, del suplemento de LE ó de la latitud, y el lado TE lo mismo que en el triángulo anterior. De donde resulta, que, para trazar un paralelo, deberá procederse como sigue:

Tómese desde el equador MD en el primer meridiano el arco MP igual á la latitud del paralelo, y, despues de tirar la perpendicular Pp al exe RO, conduzcanse las rectas DP, y Dp desde el extremo D del diámetro DM, las quales encontrarán el exe RO prolongado en B, y V. Con el diámetro BV descríbase un círculo, y su parte PBp comprehendida en el círculo OMRD será la proyeccion de la mitad del paralelo. *Fig. 9.*

Tambien puede deducirse de esta construccion método facil de calcular el diámetro de la proyeccion de un paralelo dado. El ángulo MDP es igual á la mitad de la latitud del paralelo Pp, y, tomando do por radio la DT que representa en el Mapa el de la Tierra, BT es igual á tang. $\frac{1}{2}$ PM: del mismo modo, TV es la tangente del ángulo MDp, cuya medida $\frac{1}{2}$ MPp es el complemento de $\frac{1}{2}$ MP; y así TV es la cotangente de $\frac{1}{2}$ MP ó de la mitad de la latitud. Y siendo el diámetro BV$=$VT$-$BT$=$ cotang. $\frac{1}{2}$ PM $-$ tang. $\frac{1}{2}$ PM, se sigue que:

Para hallar el diámetro del círculo que representa un paralelo en la proyeccion estereográfica, no hay mas que tomar la diferencia entre la cotangente y la tangente de la mitad de su latitud: y esta diferencia dará su valor en partes del radio.

125 Con los meridianos y paralelos descriptos se tiene todo lo necesario para colocar los lugares en la Carta ó Mapa; pues, determinándose sus posiciones en el globo por sus latitudes y longitudes, y señalados estos mismos datos en los Mapas con las proyecciones de aquellos círculos, puede fixarse cada punto en la interseccion del meridiano y paralelo que le corresponde. Al practicarlo y en el uso de los Mapas, debe tenerse presente que los geógrafos acostumbran, considerándose siempre vueltos ácia el norte, poner en casi todas las Cartas el norte arriba, el sur abaxo, el oriente á la derecha, y el occidente á la izquierda. Con esto los grados de latitud se señalan ordinariamente en escalas puestas á la de-

derecha é izquierda, y los grados de longitud arriba y abaxo: los primeros, principiando en el equador y aumentando ácia el norte y ácia el sur, y los otros principiando, por lo comun, en el primer meridiano y aumentando ácia la derecha, esto es ácia el oriente, ó ácia la parte opuesta, si se cuenta la longitud al occidente.

126 Quando la descripcion que quiere hacerse en plano no es de la mitad ni de una parte considerable del globo, y particularmente, quando el espacio de corta extension que ha de representarse comprehende pocos grados de latitud y esta es corta, suele seguirse un método diferente. Supongase que P E p, P Q p sean los dos meridianos, y D F, C B los dos paralelos que abrazan este espacio. Por los puntos L, y A, que son los medios de los arcos D C, y F B que miden la diferencia en latitud, tirense las tangentes L V, y A V, que encontrarán la prolongacion del exe P p en V. Ahora, por ser de un corto número de grados, los arcos D C, y F B se confunden sensiblemente con las tangentes L V, y A V, y el espacio D C B F podrá considerarse como haciendo parte de la superficie de un cono recto cuyo vértice es V. Asi, para representar este espacio desenvuelto en un plano, no hay mas que describir con un radio igual á V L un arco A L del mismo número de grados que la diferencia *Fig. 11.* *Fig. 12.*

en

en longitud comprehendida entre los dos meridianos : y, habiendo tirado V L *d* , y V A *f* , tomar á una y otra parte de los puntos L, y A las porciones L *d*, L *c* , y A *f*, A *b* , iguales cada una á qualquier arco L D, L C de la fig. 11 , ó á sus cuerdas que se confunden con ellos sensiblemente. Dividiendo despues *dc* , y *fb* en tantas partes iguales quantos grados contiene la diferencia en latitud, y tirando por cada punto de division y desde el V como centro, otros tantos arcos, éstos representarán igual número de paralelos. Ultimamente, devidiendo tambien el arco L A en tantas partes iguales quantos grados se cuentan en la diferencia en longitud, y tirando líneas rectas desde V por todos los puntos de division, aquellas representarán los meridianos. Despues de lo qual, solo resta colocar cada lugar en su longitud y latitud, como se executa en los otros Mapas.

127 Estos Mapas, y generalmente todos los que se emplean en las descripciones geográficas, representan mas ó ménos al natural los espacios del globo que comprehenden ; pero, aunque útiles para varios usos, no lo son en la Navegacion, porque el que pudiera hacerse de ellos sería muy complicado é inexâcto. En el segundo libro tratarémos de estos inconvenientes, y de los medios que se han imaginado para evitarlos.

PRIN-

PRINCIPIOS DE ASTRONOMÍA.

La Astronomía es la ciencia de los astros ó cuerpos celestes, y su objeto en este sentido general hacer un exâcto reconocimiento de los astros, distinguiendo los que están fixos ó inmoviles de los que son errantes: señalar las posiciones de los primeros, y trazar circunstanciadamente el curso de los otros en el Cielo: conocer los fenómenos que resultan de las combinaciones de los diversos movimientos de los últimos: y considerar particularmente cada astro, hasta observar sus apariencias, figura, magnitud, y densidad.

Esta ciencia inmensa, que abraza todo lo que corresponde á la naturaleza de los cuerpos celestes, hasta donde puede penetrar nuestra inteligencia, se funda en la observacion, que consiste en la determinacion del punto del Cielo en que se halla un astro al momento de observarlo. De las observaciones se sacan resultados, que son las verdades ó conocimientos cuya coleccion forma una parte principal de la Astronomía. Y estos mismos princípios sirven para exâminar los enlaces y recorrer la serie de los efectos, hasta referirlos á un efecto general ley simple ó causa única. Los sistémas tambien se elevan sobre el mismo fundamento; y asi estas hipótesis, en que ordinariamente se llega á la verdad por un camino sembrado de ficciones, dependen, tanto del espíritu de invencion, como de la precision de las observaciones y legitimidad de los resultados derivados de ellas.

Luego que los primeros astrónomos observaron el aparente giro diario de todo el Cielo, y los movimientos propios del Sol Luna y planetas, buscáron una hipótesis sobre las posiciones de sus cursos, para explicar todas las apariencias. Como estos sistémas, que se llaman del Mundo porque su objeto es mostrar el artificio de la máquina del Universo, nacieron probablemente con las primeras observaciones, que solo podian dár idéas imperfectas, se ve, que al paso que su cúmulo produgese el conocimiento de los fenómenos ignorados ántes, era necesario recurrir á la formacion de un nuevo sistéma ó complicar las suposiciones del primero, para dar razon de todos. El de Ptolomeo, aunque al principio pareciese razonable, es del número de aquellos cuya insuficiencia debió hacerlo abandonar muy breve,

si

si el influxo de las idéas resultantes de las impresiones en nuestros ojos, no hubiesen opuesto obstáculos á los raciocinios fundados en la verosimilitud y analogía. Pero no obstante esto, y á pesar de la experiencia, que continuamente nos pone en la precision de recurrir á ellos, para no engañarnos sobre las idéas del tamaño distancia y movimiento de los mismos objetos que no salen de la esfera en que nos guia nuestro tacto, la preocupacion sobre la inmovilidad de la Tierra ha sido por muchos siglos tan fuerte, que, partiendo de esta suposicion como de un principio infalible, y atribuyendo á los astros movimientos circulares y uniformes, el sistéma del Mundo resultaba siempre formado de una obscura complicacion de cuerpos rodando sobre epiciclos ó círculos movibles ellos mismos en otros círculos. Por fin Nicolás Copernico, á cuyo sano juicio repugnaban estas complicaciones, se propuso buscar un medio de simplificar la explicacion de los fenómenos celestes, y para esto, despues de pesar las opiniones de varios filosofos antiguos, se resolvió á poner la Tierra en movimiento. Rotas, pues, las cadenas de la opinion, en que hasta entonces habian estado sujetos los espíritus, se atrevió á atacar el venerado edificio de Ptolomeo, y á substituir en su lugar un sistéma mas verosimil y conforme á la sencillez que todos los hombres unánimes atribuyen á la naturaleza. Su hipótesis, á la verdad, no fué adoptada desde luego, y sufrió el choque de una multitud de objeciones y argumentos, porque las preocupaciones contrarias no podian desarraigarse facilmente: y hasta el famoso Ticho Brahe, al mismo tiempo en que principiaba á rayar la luz, se dexó arrastrar de la comun ilusion al punto de producir un nuevo sistéma fundado sobre el reposo de la Tierra. Pero sus mismas observaciones sirviéron despues en manos de Keplero como pruebas del sistéma copernicano: y últimamente, este grande astrónomo abandonando los círculos, demasiado respetados hasta entonces, y haciendo girar á los planetas en elipses ú ovalos con velocidades variables, logró perfeccionar el verdadero sistéma del Mundo y descubrir las leyes de los movimientos planetarios, que inmortalizarán dignamente su nombre en la Astronomía.

La sencillez de las explicaciones en el sistéma copernicano bastaba para demostrarlo en todo tiempo; pero de los adelantamientos hechos en la Física moderna resulta, no solo que su exîstencia es efectiva, sino que debe exîstir en consequencia de una ley simple y análoga á uno de los atributos con que conocemos la materia. La sublíme idéa de refeferir las leyes que presiden en los grandes fenómenos del Universo á las que nos ha enseñado la experiencia en los atomos que tocamos parece el vuelo mas elevado de que es capaz el entendimiento humano : y el ramo de la Astronomía á que ha dado ser esta razonable union de la naturaleza celeste á terrestre, no hace ménos honor á la Filosofía moderna, que al asombroso ingenio del inmortal Newton, á cuyos descubrimientos debe el sistéma del Mundo este último grado de evidencia. La atraccion, ó aquella virtud universal por la qual todos los cuerpos tiran recíprocamente á unirse con una fuerza proporcional á la masa y que disminuye con el aumento del quadrado de la distancia prueba, que, siendo la masa del Sol considerablemente mayor que la suma de la de todos los planetas situados en sus proxîmidades, aquel luminar ha de determinarlos á moverse directamente ácia él, si dicha fuerza es única, ó haciendo un giro á su al rededor, si los efectos de la atraccion se combinan con los de una impulsion primitiva comunicada á dichos cuerpos. El sistéma copernicano es, pues, una verdad demostrada por las observaciones y comprobada por la Física.

Asi, en el dia no hay ya adversarios contra el movimiento de la Tierra, y el sistéma de Ptolomeo

se

se halla colocado en el número de las opiniones que solo son útiles moralmente, porque abaten el orgullo con que los hombres podian contemplar los progresos de su espíritu. Un tratado de Astronomía es, como dice Mr. de la Lande, una demostracion continua del sistéma copernicano. Por cuya razon, y siendo actualmente esta hipótesis una verdad fundamental de la Astronomía, principiarémos dándola por establecida [1], y á su conseqüencia se encontrarán al mismo tiempo la explicacion del sistéma y las idéas de los fenómenos. Si alguno, no obstante, se encontrase indeterminado á creer un movimiento que á su parecer no ve ó le quedaren escrupulos sobre la pretendida contradiccion de las Sagradas Letras, podrá satisfacer todas sus dudas en varias obras, y particularmente en el quarto libro de la Astronomía de Mr. de la Lande, segunda edicion, y en un discurso del Excmo. Sr. D. Jorge Juan publicado al princio de las observaciones hechas en su viage al Perú.

PRI-

(1) Este método, que nos parece preferible, es tambien el que sigue Mr. de la Caille en sus Lecciones de Astronomía.

PRIMERA PARTE.

QUE CONTIENE LA EXPLICACION de los principales fenómenos celestes vistos desde el Sol.

DE LAS ESTRELLAS FIXAS.

1 Girando algunos cuerpos celestes al rededor del Sol, los fenómenos vistos desde qualquiera de ellos, como por exemplo desde la Tierra, se han de hallar complicados de las apariencias resultantes de su movimiento. Para no aumentar, pues, dificultades, abrazando muchos objetos al mismo tiempo, supongamos, que el ojo del observador que quiere considerar los astros está colocado en el centro del Sol, y que desde este punto puede extender su vista á todo el Cielo, como si la masa del Sol fuese trasparente y su luz no le deslumbrase. La descripcion de los fenómenos y resultados que deducirá de las observaciones hechas desde esta posicion servirán, partiendo de los principios mas sencillos, para establecer, con la sucesiva introduccion de nuevas consideraciones, toda la teórica del Cielo.

El

2 El observador, habiendo exâminado la figura del Cielo, le parecerá una perfecta esfera cóncava donde los astros se hallan colocados y cuyo centro es el del Sol; pero de esta apariencia no deverá concluir, que todos los astros estén en la realidad igualmente distantes de su ojo, y la atribuirá á que, no teniendo dato alguno para juzgar de la desigualdad de las distancias, es natural que las imagine todas iguales: del mismo modo que, quando uno se halla en la mar y principia á percibir ó perder de vista algun monte ó embarcacion desconocida, le parece verlos en la circunferencia del horizonte, aunque realmente se hallen á mayor distancia. Asi en general, qualquier punto del Mundo en que se coloque el ojo de un observador deberá parecerle el centro de una esfera cóncava, en cuya superficie se hallan esparcidos todos los objetos visibles del Universo.

3 Considerando todos los astros con atencion, durante un largo espacio de tiempo, advertirá que los hay de dos especies: unos, desigualmente luminosos y sensiblemente inmoviles distribuidos por todo el Cielo, que llamará *estrellas fixas* ó simplemente *estrellas*: y otros, girando al rededor del Sol con velocidades sensibles y diferentes, que nombrará *estrellas errantes* ó *planetas*.

In-

4 Inmediatamente que haya distinguido los unos de los otros percibirá, que, estando inmoviles, las estrellas señalan en el Cielo otros tantos puntos fixos que pueden servir de términos de comparacion, para referirles los movimientos de los planetas. Y como desde un mismo punto solo pueden medirse los movimientos por los ángulos que forman en él las visuales dirigidas á los extremos de los espacios corridos, continuará en considerar las estrellas como colocadas en la superficie cóncava de una esfera, cuyo centro está en el ojo del observador y cuyo radio es indefinido. Suposicion que no puede variar los resultados, porque tratándose de medidas angulares, las dimensiones de los lados no tienen influxo en ellas.

5 El observador, pues, que siente las utilidades que le ofrecen las estrellas, se aplicará desde luego á determinar sus posiciones respectivas, con tanto mas cuidado, quanto considerará que de estas primeras operaciones, que ván á formar la basa de la ciencia, depende directamente la exâctitud de las sucesivas comparaciones y de sus resultados. Elegirá, por exemplo, dos estrellas: y midiendo, por medio de un instrumento propio para este fin, el arco de su distancia, determinará la posicion de una tercera, con igual medida de su distancia á las dos pri-

meras. Y asi podrá ir estableciendo las posiciones de todas las estrellas, por una serie de triángulos esféricos, cuyos tres lados conoce por observacion, hasta formar de estos materiales un catálogo exácto que contenga el lugar que cada estrella ocupa en la esfera celeste.

6 Para evitar la confusion que ofusca la memoria y poder en lo sucesivo expresar qualquiera estrella sin dar á cada una denominacion particular, considerará el Cielo dividido en varias porciones ó espacios, que distinguirá por figuras imaginadas arbitrariamente para ocuparlos. Llamará *constelacion* ó *asterismo* al grupo ó monton de estrellas encerradas en una de ellas, y todas las que la componen serán fáciles de diferenciarse por la parte á que corresponden en la figura. Habiendo trazado, por exemplo, la pintura de un leon en una porcion del Cielo, para distinguir un cierto número de estrellas, le será facil despues expresar las que contiene esta division, asignando á cada una un caracter particular qualquiera: y asi, valiéndose de las letras griegas [1], podrá decir las estrellas ζ, y γ en el cuello del leon,

(1) Bayer, á principios del siglo pasado, señaló las diferentes estrellas con las letras griegas α, β, γ, &c., cuyo uso se ha conservado hasta ahora.

leon, y aún dar un nombre propio á la estrella que por su brillantez ú otra circunstancia exîja esta preferencia, llamando v. g. *Regulo* á la estrella α del corazon del leon.

7 *Nota.* Las estrellas que no están comprehendidas en las constelaciones formadas, se llaman *estrellas informes*, y se distinguen por sus posiciones relativas á las que caen en sus proxîmidades.

8 El observador hará otra division de las estrellas, distribuyéndolas en clases segun la viveza de su luz. Las estrellas mas brillantes serán las de primera magnitud, las que lo son ménos de segunda magnitud, y asi en adelante: de modo, que las que apenas pueden percibirse con la simple vista serán las de sexta magnitud, y las demas que no pueden verse sin el auxîlio de anteojos serán de la séptima, octava, &c.

9 Establecidas estas divisiones, podrá hacer una exâcta descripcion del Cielo con las figuras de las constelaciones en globo ó en plano, por los mismos métodos que se usan para trazar todos los países y puntos de la Tierra, cuyas posiciones relativas se conocen.

10 Pero quando despues de esto quiera indagar el lugar del Universo que ocupa cada estrella, sus distancias reales al Sol, su naturaleza, magni-

tud, número, &c., el observador se hallará sin fundamentos para pasar adelante con demostraciones; pues estando inmovil, como el Sol, y ocupando un solo punto, carece de basa para determinar las distancias por operaciones trigonométricas. En este caso, pues, recurrirá á suplir con conjeturas la evidencia; y asi, como el número de las estrellas que descubre es tanto mas grande quanto mas perfecciona su vista con el auxilio de instrumentos, creerá moralmente imposible el contarlas todas, y atendiendo á la viveza de su luz é inmovilidad inferirá, con mucha verosimilitud, que todos aquellos astros son otros tantos soles ó cuerpos de igual naturaleza y poco mas ó ménos de la misma magnitud y luz que el nuestro, destinado cada uno á ser, como él, principio y centro del movimiento de varios planetas que le rodean á distancias diferentes.

DEL NÚMERO Y NOMBRES de las constelaciones, y modo de distinguir las estrellas.

11 Estando las estrellas á una distancia tan grande de nosotros, que hasta ahora no se ha podido encontrar medio alguno de medir la de las que podiamos suponer mas próximas, la disposicion apa-

aparente del Cielo estrellado debe ser la misma visto desde el Sol ó desde la Tierra. Asi, pudiendo aplicarse á la Tierra las reparticiones que haga el observador supuesto en el centro del Sol, ántes de pasar adelante, indicarémos las principales que se han adoptado en la Astronomía y el método de conocer las estrellas por su medio: á fin de que, siguiendo el enlace natural de las idéas, no tengamos que volver á tratar del mismo asunto.

12 Las constelaciones formadas por los antíguos, para dividir la parte del firmamento que les era visible, son quarenta y ocho: de las quales, unas comprehendian toda la zona del zodiaco (49), y otras las situadas al septentrion y medio dia de este.

13 Los nombres dados á las doce constelaciones del zodiaco fueron *Aries*, *Taurus*, *Gemini*, *Cancer*, *Leo*, *Virgo*, *Libra*, *Scorpius*, *Sagitarius*, *Capricornius*, *Aquarius*, *Pisces*: de donde tambien (50) han deribado sus nombres los signos del zodiaco y de la ecliptica.

14 Las veinte y una constelaciones dispuestas para arreglar las estrellas al norte del zodiaco se llamáron de este modo, *Ursa major*, *Ursa minor*, *Draco*, *Cepheus*, *Bootes*, *Corona septentrionalis*, *Hercules*, *Lyra*, *Cygnus*, *Cassiopea*, *Perseus*, *Andromeda*, *Tri-*

Triangulum, *Auriga*, *Pegasus*, *Equuleus*, *Delphinus*, *Sagitta*, *Aquila*, *Ophiucus* ó *Serpentarius*, *Serpens*: y á estas se añadieron las dos constelaciones de la *Cabellera de Berenice*, y *Antinous*, compuestas de las estrellas que se hallaban entre las primeras, con las quales hacen veinte y tres constelaciones boreales.

15 Las constelaciones que los antiguos imagináron, para distribuir las estrellas al sur del zodiaco, son quince y se nombran: *Cetus*, *Eridanus*, *Lepus*, *Orion*, *Canis major*, *Canis minor*, *Argo*, *Hydra*, *Crater*, *Corvus*, *Centaurus*, *Lupus*, *Ara*, *Corona meridionalis*, *et Piscis australis*.

16 Los modernos han añadido varias constelaciones á las antiguas, pero el número total y ciertos nombres de las constelaciones varían, porque algunos autores abandonan unas y las remplazan, ó ponen otras nuevas. La tabla siguiente manifiesta, segun Mr. de la Lande, los nombres de las cien principales constelaciones que se consideran en el Cielo, y en ellas deberá notarse, el sin exemplar desinterés, con que Mr. de la Caille quiso dedicar á las artes las catorce constelaciones, en que distribuyó las estrellas australes que observó en el cabo de Buena esperanza.

TABLA DE LAS CIEN CONSTELACIONES PRINCIPALES.

Doce constelaciones del zodiaco.

Aries.	Leo.	Sagitario.
Tauro.	Virgo.	Capricornio.
Geminis.	Libra.	Aquario.
Cancer.	Escorpion.	Piscis.

Veinte y tres constelaciones boreales de los antiguos.

La Osa mayor.	El Caballo menor.	La Serpiente.
La Osa menor.	El Triángulo boreal.	Hércules.
El Dragon.	El Cochero.	El Águila.
Ceféo.	La Cabellera de Berenice.	Antinoo.
Cassiopea.		La Flecha.
Andromeda.	El Bueyero.	La Lyra.
Perséo.	La Corona boreal.	El Cisne.
Pegaso.	El Serpentario, ú Ofiuco.	El Delfin.

Quince constelaciones australes de los antiguos.

Orion.	El Perro menor.	El Lobo.
La Ballena.	La Hydra hembra.	El Altar.
El Rio Eridan.	La Copa.	El Pez austral.
La Liebre.	El Cuervo.	La Nave.
El Perro mayor.	El Centauro.	La Corona austral.

Vein-

Veinte y dos constelaciones añadidas por Hevelio, Halley &c.

El Camelo-pardalo.
El Rio Jordan.
El Rio Tigris.
El Cetro y la Flor de Lis.
La Paloma.
El Monoceronte.
La Cruz.
El Sextante de Urania.
El Romboide.
Los Perros de Caza.
El Leon menor.
El Lince.
La Zorra.
El Ansar.
El Escudo de Sobieski.
El Triángulo menor.
El Cerbero.
La Rama.
El Lagarto.
El Monte Menal.
El Corazon de Cárlos II.
El Roble de Cárlos II.

Catorce constelaciones australes de Bayer, &c.

El Indio.
La Grulla.
El Fenix.
La Abeja ó la Mosca.
El Triángulo austral
El Ave del Paraiso.
El Pabo real.
El Tucán.
La Hydra macho.
El Dorado.
El Volador.
El Camaleon.

Se notan ademas la Nube mayor, y la Nube menor.

Catorce constelaciones australes de Mr. de la Caille.

El Obrador del Escultor.
El Horno químico.
El Relox astronómico.
El Reticulo romboide.
El Buril del Gravador.
El Caballete del Pintor.
La Bruxula.
La Máquina pneumática.
El Octante de reflexîon.
El Compas.
El Perpendiculo y la regla.
El Telescopio.
El Microscopio.
El Monte de la Mesa.

17 Las estrellas de estas constelaciones que se reputan de primera magnitud son unas veinte; á saber

ber *Sirio*, *la Lyra*, *la Cabra ó Capella*, *Arcturo*, *Aldebarán*, *la espalda de Orion*, *Rigél*, *Regulo*, *la espiga de la Virgen*, *Procyon*, *Antáres*, *Fomalhand*, *el Aguila*, *Achernar*, *Canopo*, *el pie de la Cruz*, *la pierna, y el pie del Centauro* (de las quales las cinco últimas no son visibles en Europa): y á estas añaden algunos *la cola del Cisne*, *la primera de los Gemelos*, *el corazon de la Hydra*, *la cola del Leon*, *la segunda de la Nave*, *y el ojo del Pabo real*. Los antiguos, que contaban 1022 estrellas en la parte del Cielo que se veía en Egypto, solo reconocian 15 de primera y 49 de sexta magnitud: lo que, comparado á nuestros catálogos modernos, hace bien patente las grandes ventajas que nos han producido en el conocimiento del Cielo los viages al otro hemisferio y la adquisicion de un nuevo órgano en los telescopios.

18 El catálago de las estrellas mas antiguo es el que nos ha conservado Ptolomeo, aunque generalmente se cree debido á Hipparco, y que Ptolomeo solo reduxo á su tiempo las posiciones observadas por aquel astrónomo para el de 130 ántes de Jesu-Christo. Despues Ulug-beg príncipe tártaro nieto del gran Tamerlan, y entre los européos Guillermo IV. Landgrave de Hesse, Ticho Brahe, el Padre Riccioli, y Hevelio formáron catálogos mas exâc-

tos ó mas ámplios. Pero el mayor, mas famoso, y que se mira como una de las colecciones mas magníficas que la Astronomía posee, es el Catálogo británico de Flamsteed, dado á luz contra el gusto del Autor en Lóndres en 1712 y mas segun su mente en 1725, que contiene las longitudes, latitudes, ascensiones rectas, y declinaciones de 2919 estrellas para el principio de 1690, conforme á las observaciones hechas en Derby y luego en Greenwich por el mismo Flamsteed, primer astrónomo real de Inglaterra.

19 Pero como varias estrellas tienen ademas del comun un movimiento particular ó propio (440), despues de algunos años las posiciones de las estrellas del Catálogo británico no podian adoptarse con entera confianza, y por consiguiente era indispensable establecerlas de nuevo, para no retardar los progresos de la ciencia. Mr. de la Caille, cuya vida fué una continua série de taréas en favor de la Astronomía emprendió esta obra y formó tres catálogos: de los quales, el primero contiene las posiciones de 397 estrellas, que, establecidas con una precision desconocida hasta entonces, ha sido mirado por los astrónomos como el verdadero fundamento actual de la Astronomía: el segundo es el de 1492 estrellas, elegidas entre el número de unas diez mil

que

que observó en el cabo de Buena-esperanza, y en las islas de Francia y de Borbon: y el tercero es el de las estrellas zodiacales, cuyo trabajo, aunque quedó imperfecto por la muerte que aceleró á aquel hombre único, su discipulo Mr. Bailly, despues de acabar muchos cálculos lo ha publicado en las efemerides calculadas por Mr. de la Caille para los años de 1765 — 1774. Mr. le Monnier, teniendo tambien el valor de aspirar á establecer los fundamentos de la Astronomía con un nuevo catálogo de estrellas, ha publicado los principales resultados de sus observaciones. Mr. Mayer ha dexado igualmente otro catálogo: y últimamente, en el Almanak naútico inglés de 1773, se ha publicado un catálogo de 387 estrellas con sus posiciones calculadas por las observaciones del célebre Doctor Bradley.

Del modo de conocer las estrellas. 20 Para conocer las estrellas que contienen estas tablas ó distinguirlas cada una por su nombre y situacion en el firmamento, el método mas facil es buscar en el Cielo alguna constelacion ó porcion de estrellas, y, buscándolas tambien en la Carta, disponerla de modo, que á corta diferencia se correspondan las estrellas reconocidas en el Cielo y en su representacion. Por cuyo medio, comparando esta con lo que se ve en aquel, será facil ir sucesivamente hallando el nombre orden y configuracion de las constelaciones, y despues distinguir en cada una las diferentes que comprehende. Por esto es, pues, necesario hacerse á conocer á primera vista algunas constelaciones en el Cielo: lo que será facilísimo, aun para un observador que se halle sin la guia de otro práctico, por haber algunas tan señaladas que la sola noticia ó perspectiva de su disposicion basta para hacerlas perceptibles.

21 Por exemplo: la constelacion de la Osa mayor está compuesta de siete estrellas principales, de las quales quatro forman un quadrilátero casi rectángulo y las otras se siguen en línea recta, como manifiesta la fig. 13. Si se imagina un arco ó línea recta conducida por las dos estrellas α, β, su prolongacion ácia la parte de la estrella α pasará muy cerca de la estrella polar (112), que es de tercera magnitud, y esta á corta diferencia tan distante de la estrella α como esta de la estrella η.

22 La Osa menor es una constelacion que tiene casi la misma figura que la Osa mayor y que la es paralela, pero en situacion trastornada. La estrella polar forma el extremo de la cola, y las quatro estrellas que la siguen no son mas que de quarta magnitud, pero las dos últimas, que son las

que

que se llaman guardias de la Osa menor, son de tercera magnitud.

23 Si de la estrella polar se conduce una línea recta que pase entre la guardia que mira ácia la Osa mayor y el extremo de la cola de ésta, su prolongacion irá á encontrar una estrella hermosa llamada *Arcturo*. Arcturo, que corresponde á la parte baxa del ropage del Bueyero, es de primera magnitud y la principal de esta constelacion, y su lugar está ademas bien indicado por la cola de la Osa mayor, de la qual cae á poca distancia.

24 Por medio de Arcturo puede venirse en conocimiento de la *Lyra*, que, siendo una estrella de primera magnitud y de las mas brillantes del Cielo, forma con Arcturo y la estrella polar un triángulo rectángulo, cuyo ángulo recto está ácia oriente en la misma Lyra.

25 Otro arco tirado por la estrella del norte y la segunda ó ζ de la cola de la Osa mayor pasará por la *espiga de la Virgen*, que es una estrella de primera magnitud situada en el otro hemisferio, y perteneciente á la constelacion de Virgo.

26 A la otra parte del polo del norte respecto á la Osa mayor, se descubre otra constelacion muy facil de distinguir que se llama Cassiopéa. Esta es notable por seis ó siete estrellas que forman una

una especie de silla trastornada; y aunque esta señal parezca equívoca, las mismas estrellas de Casiopéa, siendo muchas de segunda magnitud, se harán percibir muy facilmente.

27 El Toro es facil de distinguir, por el grupo de pequeñas estrellas, llamadas *Pleyadas*, que todo el mundo conoce y tiene próxîmas. *Aldebarán* es una estrella de primera magnitud, que, situada muy cerca de las Pleyadas, forma el ojo del Toro y se hace notable por su brillantez y color roxo.

28 Mas al sur y oriente aparece Orion, que es una constelacion inequivocable, por tres estrellas de segunda magnitud, que están todas muy próxîmas en línea recta y en medio de un gran quadrilátero. La direccion de estas estrellas, que forman la faxa ó cinturon de Orion, indican por un lado á Sirio, y por el otro á las Pleyadas. *Sirio*, que es la mas hermosa estrella del Cielo, fixa la atencion por la vibracion y brillantez de su luz, y está ácia el oriente ó sueste de Orion.

29 Al norte de Sirio y mas oriental que Orion cae el Perro menor, cuya estrella *Procyon* forma con Sirio y el cinturon de Orion un triángulo casi equilátero.

30 Aries, la primera de las doce constelaciones del zodiaco, consta principalmente de dos estrellas

de

de tercera magnitud bastante próximas, de las quales, la mas occidental está acompañada de una estrella menor nombrada γ ó la primera estrella de Aries. Esta constelacion puede reconocerse por una línea, que, tirada por Procyon ó Aldebarán, se dirige ácia ella.

31 Las dos cabezas de los Gemelos están señaladas por dos estrellas de segunda magnitud bastante próximas, en el medio del espacio entre Orion y la Osa mayor.

32 La línea conducida por los Gemelos y la estrella polar vá á encontrar de la otra parte, y á la misma distancia de esta, el Cisne, que es una constelacion muy perceptible en forma de una cruz grande, donde hay una estrella de segunda magnitud.

33 El Aguila es tambien facil de distinguir, por una estrella de segunda magnitud, que corresponde al sur de la Lyra y del Cisne, y está situada entre otras dos estrellas de tercera magnitud que, muy próximas, forman con ella una línea recta.

34 La Corona septentrional es una constelacion pequeña, pero facil de distinguir, porque, situada cerca de Arcturo, está compuesta de siete estrellas en forma de semicírculo.

35 En el hemisferio austral, que es la parte

mas

mas hermosa del Cielo, la constelacion del Escorpion es muy notable, y consta de quatro estrellas que forman un arco de norte á sur, y de una estrella mas oriental, que es como el centro del arco. Esta estrella, llamada *Antáres*, es el corazon del Escorpion, y la constelacion puede conocerse imaginando una línea tirada por Regulo y la espiga de la Virgen, que, siguiendo la ecliptica (118) á corta diferencia, la encuentra ácia el oriente.

36 Ultimamente terminarémos estas nociones de las constelaciones, dando el modo de distinguir el polo de la ecliptica, que es uno de los puntos mas interesantes de todo el Cielo. El polo boreal de la ecliptica está situado en la línea tirada por las estrellas γ y δ de la Osa mayor, y forma un triángulo rectángulo isosceles con la estrella polar y la β de la Osa menor, que es la mas próxîma á la polar de las dos últimas estrellas de esta constelacion y en la que está el vértice del ángulo recto. El mismo polo forma tambien un triángulo casi equilátero con la Lyra y α del Cisne.

37 Estas señales pueden extenderse á todo el Cielo estrellado; pero lo dicho basta para manifestar el modo de conocer algunas constelaciones ó estrellas, y por su medio sucesivamente todas las demas. Las enfilaciones de unas ú otras pueden servir pa-

para ir recorriendo todo el firmamento, y al mismo observador que haga este estudio le será facil inventar las que le acomoden para volver á hallar las estrellas que haya una vez reconocido, por medio de las Cartas. Para que esto le sea mas facil convendrá, tambien, acostumbrarse á imaginar las figuras de las constelaciones trazadas en el Cielo; pues, aunque éstas sean arbitrarias y no tengan casi relacion alguna con las figuras que efectivamente se nos presentan á la vista, el habito de hacer con prontitud estas referencias es necesario, para entender los nombres empleados en los libros de Astronomía y hacer uso de las observaciones.

38 La estrella particular que se necesite podrá tambien conocerse sin recurrir á exâminar el estado actual del Cielo, por otro método muy facil que es este. Con la ascension recta, declinacion de la estrella, y latitud del lugar calcúlese la hora de su pasage por el meridiano y su altura entonces (247, 161): dirijase un quarto de círculo (526), segun una meridiana (224), y, poniendolo en la altura calculada, el mismo quarto de círculo indicará la estrella que se busca; pues se la verá parecer al extremo de su rádio ó índice á la hora hallada del pasage por el meridiano. Un quarto de círculo de madera basta para tales usos.

NOCIONES GENERALES SOBRE el movimiento de los planetas.

39 Despues de la descripcion de las estrellas, el observador se aplicará á determinar, con los datos ya establecidos, todas las circunstancias del movimiento de los planetas.

40 Habiendo observado hasta siete que giran inmediatamente al rededor del Sol, todos en el mismo sentido y á corta diferencia segun el mismo curso, pero con velocidades muy desiguales, les dará nombres é inventará caractéres para expresarlos. Llamará *Mercurio* al que se mueve con mayor velocidad, y lo distinguirá con este caracter ☿: y llamará y distinguirá los otros segun siguen, en el orden de sus velocidades, *Venus* ♀, la *Tierra* ♁, *Marte* ♂, *Jupiter* ♃, *Saturno* ♄, *Herschel* ó el *Planeta Georgiano* ♅.

41 *Nota.* Los planetas se distinguen á primera vista desde la Tierra; porque, siendo mas brillantes algunas veces que las estrellas, su luz siempre serena, exceptuando tal vez la de Venus, no tiene aquella vibracion ó temblor que nos manifiesta en las estrellas otros tantos cuerpos luminosos por sí mismos, y que parecen tan pequeños, por la gran distancia á que los vemos.

El

42 El observador advertirá, que la Tierra está siempre acompañada de un astro menor, Jupiter de quatro, y Saturno de cinco. Á estos astros menores, que ya preceden ya siguen el planeta, respecto al sentido de su movimiento, los llamará *planetas de segundo orden*, *satelites*, *ó lunas*.

43 La figura 14 representa el orden de los planetas y satelites segun el sistéma copernicano; pero advirtiendo que los diámetros de los círculos no manifiestan con exâctitud la verdadera relacion de las distancias.

44 Tambien observará de tiempo en tiempo otros cuerpos, que, pareciendo al principio muy pequeños obscuros, mal terminados y lentos, aumentarán en corto intervalo de magnitud, luz y velocidad, hasta un cierto punto: pasado el qual, irán en disminucion estas tres cosas, poco mas ó ménos, por los mismos grados en que se verificó el aumento, hasta desaparecer enteramente. Llamará *cometas* á estos cuerpos, que verá en todas las regiones del Cielo con movimientos dirigidos en sentidos diferentes.

45 Habiendo fixado la atencion en la superficie de los planetas de primer orden, advertirá algunos lugares, que llamará *manchas*, mas obscuros que los demas: y considerándolas atentamente las

verá mudar de situacion, y pasando de un margen del planeta á otro ocultarse detrás, y despues aparecer en el primer margen: continuando siempre el mismo movimiento con bastante uniformidad. Observará, que estas manchas parecen aumentar á proporcion que se alejan del margen, abanzando ácia la medianía del planeta, y disminuir pasado este término, segun se acercan al margen opuesto, donde solo parecen como un filete largo. Y comparando el tiempo que gastan, desde su ocultacion en el segundo margen, hasta aparecer en el primero, con el que están sobre el disco del planeta, verá, que el primero es algo mayor que el último. De cuyas observaciones concluirá: que las manchas son partes adherentes al cuerpo del planeta: que cada planeta es un globo que gira sobre un exe; y que, por consiguiente, cada planeta tiene al mismo tiempo dos movimientos, uno sobre su exe que se verifica en muy poco tiempo, y otro por el qual gira al rededor del Sol. El primero de estos dos movimientos es el *movimiento diurno*, y el segundo el *movimiento anual* ó de *revolucion.*

DE

DE LAS REVOLUCIONES ANUALES de los planetas y sus cursos.

46 El observador, que se propone hallar las leyes de los movimientos planetarios, principiará por establecer una unidad de tiempo, para poder comparar los espacios angulares corridos, con los tiempos gastados en la translacion. Para esto elegirá un movimiento uniforme, como el de la rotacion de uno de los planetas: y prefiriendo el de la Tierra, llamará un *dia* al interválo de tiempo comprehendido entre el instante en que una mancha ó punto de la superficie de la Tierra se halla exâctamente en frente del Sol y el en que la misma mancha vuelve á la misma situacion: dividiendo, para la facilidad de los cómputos, el dia en 24 partes iguales, que llamará *horas*, cada hora en 60 *minutos*, cada minuto en 60 *segundos* &c.

47 El observador tendrá cuidado de notar despues, los instantes en que cada uno de los planetas encuentra alguna estrella fixa: y habiendo observado los tiempos en que cada planeta se ha hallado en igual situacion con la misma estrella, advertirá que todas las revoluciones consecutivas son sensiblemente iguales. De aquí concluirá, que las or-

orbitas, ó líneas que describen en su curso los planetas deben ser sensiblemente las mismas en todas las revoluciones, y en esta suposicion se aplicará á conocer la naturaleza de ellas.

48 Desde luego podrá percibir que la curva señalada por todos los puntos del Cielo en que se ha hallado cada planeta están en un mismo plano que pasa por el centro del Sol; pues, tendiendo un hilo con sus extremos en las visuales dirigidas á dos estrellas de la orbita, todas las demas intermedias á que ha correspondido sucesivamente el planeta se encontrarán en las rectas conducidas por el ojo y los puntos del hilo. Así se asegurará, observándolos todos separadamente, y atendiendo á que qualquiera plano que pasa por el centro de la esfera es de un círculo máxîmo de ella: que la orbita de cada planeta es una curva confundida en el plano de un círculo máxîmo de la esfera celeste.

49 Exâminando despues la disposicion general de las orbitas, verá que los planos en que se hallan, aunque poco inclinados entre sí, son de posiciones distintas. Notará tambien, que los cursos de todos los planetas, pasando sucesivamente por las constelaciones de Aries, Tauro, Geminis, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Escorpion, Sagitario, Capricornio, Aquario, Piscis, forman en el Cielo una faxa ó zona,

na, de cuyos términos nunca se apartan. La denominará *zodiaco*; y, para comprehender en ella las orbitas de todos los planetas, señalará sus límites á $8^\circ \frac{2}{3}$ de distancia ácia ambas partes del plano de la orbita terrestre: de modo que, dividida por esta en dos mitades, se extienda todo el ancho de la zona á $17^\circ \frac{1}{3}$. Tambien dividirá su circunferencia, principiando por un punto, como la primera estrella de Aries, en doce partes iguales, que llamará *signos*. Cada signo constará, por consiguiente, de treinta grados, y se distinguirá por el orden en que se halla desde la estrella determinada ó por el de la constelacion que contenga; y asi, dirá indistintamente el *primer signo* ó el signo de Aries, el *segundo signo* ó el de Tauro &c.

50 Segun lo ha executado con los planetas, el observador inventará los siguientes caractéres, para expresar los signos del zodiaco: y conviniendo aumentar el número de las expresiones abreviadas, para calcular y explicarse facilmente, entenderá en general por signo 30 grados, sean contados en el zodiaco ú en otro círculo qualquiera.

Aries........... ♈	Leo............. ♌	Sagitario...... ♐
Tauro........... ♉	Virgo.......... ♍	Capricornio... ♑
Geminis........ ♊	Libra........... ♎	Aquario........ ♒
Cancer......... ♋	Escorpion..... ♏	Piscis........... ♓

Es

51 Es de advertir, que los astrónomos antiguos habian elegido la estrella α en la oreja de Aries por primer punto del zodíaco, atendiendo á que esta estrella era la primera de la constelacion en que el Sol se hallaba al tiempo del equinoccio de primavera. Pero, aunque entonces cada constelacion correspondiese con bastante exâctitud al signo que todavia se distingue por su nombre, como el punto del Cielo en que se verifica la primavera retrocede anualmente de unos $50''$, segun despues verémos, las distancias de todas las estrellas varían de otro tanto; y de aqui resulta, que actualmente cada signo no corresponde á la constelacion cuyo antiguo nombre conserva. Esta discrepancia es ya tan considerable, que actualmente, toda la constelacion de Aries se halla en el signo de Tauro, casi toda la constelacion de Tauro en el signo de Geminis, y á proporcion todas las otras.

DE LAS DESIGUALDADES DE LOS movimientos planetarios.

52 El observador, habiendo notado, por un exâmen particular del movimiento de cada uno, que en todos los planetas varían sensiblemente las velocidades, esto es los espacios angulares corridos en los

los mismos tiempos, se propondrá descubrir la ley de estas desigualdades. Pero, para precaverse del riesgo de confundir con las reales las que únicamente son ilusiones aparentes, se acordará de los siguientes principios de la Optica.

1.° *Los ángulos, por los quales se vén los diámetros de los mismos objetos, están entre sí, si no son grandes, en razon inversa de las distancias del objeto al ojo.*

2.° *Las desigualdades aparentes de las velocidades iguales en tiempos iguales, son en razon inversa de las distancias al ojo del observador.*

Y será facil comprehender la demostracion de estos principios, haciéndose cargo de que, todas las dimensiones de los cuerpos ó distancias andadas por ellos, las vemos por un ángulo cuyo vértice está en el ojo del espectador, quien por su abertura juzga de la magnitud de los objetos. Asi el mismo cuerpo CP, puesto sucesivamente en C y C′, parece de tamaño diferente al ojo O: y solo formámos verdaderas idéas de sus dimensiones, por las que podemos adquirir de estas distancias, que es lo que nos sucede en los objetos expuestos á nuestra vista dentro de los espacios que hemos medido con nuestro propio movimiento. Fig. 15.

En efecto en el triángulo POC se tiene R:

tang. $COP = OC : CP$, y en el otro $C'OP'$, R: tang. $C'OP' = OC' : C'P'$ ($= CP$), luego $OC \times$ tang. $COP = OC' \times$ tang. $C'OP'$, y $OC : OC' =$ tang. $C'OP'$: tang. COP; de lo que resulta, quando los ángulos COP, y $C'OP'$ son pequeños y por consiguiente los arcos que los miden sensiblemente iguales á sus tangentes, $OC : OC' = C'OP' : COP$. Asi el observador, que siente la variacion del ángulo de las visuales que abrazan el objeto CP, concluirá que sus distancias al ojo tambien han variado en razon inversa del mismo ángulo; pero no podrá formar idéa de las dimensiones del objeto, á ménos que tenga conocimiento del valor absoluto de alguna distancia OC, para determinar las dimensiones del triángulo POC, y por su resolucion mental, digamoslo asi, el lado CP.

53 El observador, para aplicar estos principios á la indagacion de las leyes de los movimientos planetarios, observará durante una ó mas revoluciones á intervålos iguales, como por exemplo todos los dias, el lugar del planeta en su orbita. Estas observaciones darán el valor del arco celeste comprehendido entre el centro del planeta y una estrella qualquiera, de las que haya encontrado en su curso, contado desde este término segun la direccion del movimiento de los planetas ó de occidente ácia orien-

oriente, que es lo que se llama *segun el orden de los signos*; y las diferencias de los arcos manifestarán las diversas velocidades ó espacios angulares correspondientes á distintas épocas, pero corridos en iguales tiempos. Tambien observará, de quando en quando, el ángulo formado por las visuales á los dos extremos del diámetro del planeta: y hallará, que, aumentando este ángulo con la velocidad del planeta, su distancia al Sol es menor quando su movimiento es mas lento. Por estos datos, le será facil venir en conocimiento del orden de las velocidades de los planetas; porque resultando de los dos principios establecidos ántes (52): que, si sus desigualdades son aparantes y solo dimanan de las variedades de la distancia al Sol, los arcos descriptos en iguales tiempos son como los diámetros, no hay mas que cotejar las observaciones hechas para ver si se verifica la proporcion precisa. De este modo, pues, concluirá: *que las desigualdades del movimiento de los planetas no son solo aparentes, y que los defectos de uniformidad provienen de dos causas, una fisica y otra optica.*

DE LA FIGURA DE LAS ORBITAS y leyes del movimiento de los planetas.

54 El observador, continuando el exâmen de sus observaciones, notará: Que las velocidades de los planetas disminuyen con bastante regularidad, desde el término de la máxîma hasta el de la minima velocidad, y que despues aumentan en el mismo orden con que fuéron decreciendo: de modo que, á iguales distancias en ambos lados de uno de estos términos, las velocidades son iguales. Que en las proxîmidades de los mismos términos las velocidades son ménos desiguales y mas uniformes: Que la distancia de ellos es de 180° ó seis signos, y que el intervalo de tiempo que el planeta tarda en pasar de uno á otro es igual á la mitad del tiempo de su revolucion anual: Y últimamente, que, acabada la revolucion y habiendo vuelto el planeta á las posiciones ya observadas, se mueve con la misma velocidad, quando corresponde á los mismos puntos del Cielo.

55 El observador inferirá, pues: Que la curva descripta por el planeta es cerrada y simétrica: Que los dos términos de la máxîma y minima velocidad están diametralmente opuestos respecto al Sol; de

de modo que la línea que los une debe ser un diámetro de la curva, y pasar por el centro de este astro: Que la posicion de esta línea es sensiblemente fixa en el Cielo: y que la causa que hace mover al planeta obra del mismo modo en ambos lados y á iguales distancias de esta línea.

56 El observador llamará generalmente *apsidas de los planetas* á los términos de la máxima y mínima velocidad. Y distinguirá por *apsida inferior* ó *perihelio* al punto de la orbita en que se halla el primero, que es al mismo tiempo el mas cercano al Sol, y *apsida superior* ó *afelio* al punto de la mínima velocidad, que es el mas distante.

57 Formando despues varias hipótesis sobre las figuras de las orbitas, para determinar por la conformidad con las apariencias, qual es la naturaleza de las curvas que describen y las leyes del movimiento anual de los planetas, llegará á considerar al Sol en el foco S de una elipse [1], en la qual las dis- *Fig. 16.*

(1) Una elipse, que vulgarmente suele llamarse ovalo, es una especie de círculo lato con dos centros, ó una curva cerrada mas larga en un sentido que en otro, y que se describe desde dos puntos, de modo, que la suma de las distancias de ambos á cada punto de la curva es la misma en toda ella, é igual á la línea que mide su longitud. Fíxense dos alfileres (fig. 16) en F y S, y en ellos un hilo FPS: con otro alfiler estírese el hilo, hasta que forme dos lineas rectas, como FP y

distancias SB, y SA á los dos vértices estén en razon inversa de los diámetros aparentes observados en el perihelio y afelio, y cuyo semiparametro SH sea á SB, como el diámetro afelio al observado igualmente en los dos puntos de la orbita G, y H, determinados por la perpendicular á la línea de las apsidas. Con esto y, suponiendo ademas, que el planeta se mueve en la curva describiendo iguales areas en iguales tiempos, esto es, de modo, que el area PSP′P se halle con la de toda la elipse, en la misma razon que el tiempo empleado en pasar de P á P′ al de la revolucion completa, hallará los fenómenos resultantes de estos principios tan exâctamente conformes á los observados, que al fin concluirá:

Que los planetas executan sus revoluciones anuales en orbîtas elipticas, formando areas proporcionales á los tiempos. Esta es una de las famosas leyes de Keplero.

PRO-

y PS, y muevase progresivamente este alfiler, manteniendo siempre la tirantez del hilo: la curva APBA que describirá su punta será una elipse. F y S se llaman los focos de la elipse: el punto C, colocado en medio de FS, el centro: AB el exe mayor: *ab* que, pasando por C, le es perpendicular, el exe menor: y las lineas GH, y *gh*, tiradas por los focos perpendicularmente al exe mayor, son los parametros.

PROBLEMAS SOBRE EL MOVIMIENTO eliptico de los planetas.

58 Despues de establecida la verdadera figura de los cursos, ley general que observan en su movimiento, y tiempos que emplean en sus diferentes revoluciones todos los planetas, el observador se propondrá hallar métodos de calcular el lugar que ocupa qualquier planeta en su orbita, para un instante dado en los tiempos pasados ó futuros. Esto es, sabiendo por exemplo, el punto á que correspondió en un momento conocido, averiguar en el que se vió ó ha de ver despues de un interválo qualquiera, ó, lo que es lo mismo, hallar la relacion entre el tiempo gastado en el movimiento del planeta, y el ángulo formado en el centro del Sol por las líneas tiradas desde los dos puntos del arco descripto. Á este fin, principiará por establecer algun término fixo ó época para contar desde ella los tiempos y espacios; y habiendo elegido el punto y momento en que el planeta se halla en su afelio, distinguirá varios elementos en la orbita, y hará las definiciones y combinaciones que siguen.

59 Llamará *radio vector de un planeta* á la línea tirada del centro del Sol al centro del planeta, ó

ó la distancia del planeta á este foco de su elipse.
Fig. 17. Siendo, por exemplo, A T B P la orbita eliptica de un planeta descripta al rededor del foco S donde está colocado el Sol, y T el actual lugar de un planeta para un instante dado, la línea T S será el radio vector.

60 *Excentricidad de una orbita* será la distancia del foco que ocupa el Sol al centro de la elipse descripta por el planeta, esto es, la mitad de la diferencia entre las distancias afelio y perihelio. C S es la excentricidad en la orbita A T P.

61 *Anomalia*, en general, será la distancia de un planeta á su afelio; pero, pudiendo considerarse de diferentes modos, el observador distinguirá varias especies.

Anomalia verdadera será el ángulo formado en el foco de la elipse por el radio vector y la línea de las apsidas. El ángulo A S T es la anomalia verdadera del planeta en T.

62 *Anomalia excentrica* será el ángulo formado en el centro de la elipse por el exe mayor y el radio de un círculo circunscripto, conducido por el extremo de la prolongacion de la ordenada que pasa por el lugar verdadero del planeta. Habiendo descripto un círculo A D P sobre el exe mayor A P como diámetro, prolongando la ordenada E T que pasa por el punto T donde se supone el planeta, y tirando

do por el extremo D el radio CD, ACD será la anomalia excentrica.

63 *Anomalia media* significará últimamente la distancia del planeta á su afelio, supuesta proporcional al tiempo de su movimiento. Esta anomalia aumenta uniformemente ó por grados iguales en todas las revoluciones, desde que, partiendo del afelio y pasando por el perihelio, vuelve al punto de aquella época. De este modo, un planeta que emplease doce meses en completar su giro ó seis en pasar de A á P, al cabo del primer mes tendría 30° de anomalia media, 60° al fin del segundo, y asi en adelante, siempre con aumentos proporcionales á los tiempos. Si se toma, pues, una línea CG para indicar la anomalia media, suponiendo que esta línea gira uniformemente al rededor del centro C, la línea CG al principio se adelantará á la CD, porque, segun lo observado y la ley de Keplero referida (57), AD crece con mas lentitud ácia el afelio en donde el verdadero movimiento del planeta es, por consiguiente, menor que el movimiento supuesto uniforme ó medio; y esta ventaja aumentará mientras la velocidad del planeta sea menor que su velocidad media. Desvanecida la diferencia, esto es, igualadas las velocidades, el punto D principiará á aproximarse al G, y disminuyendo sucesivamente su

distancia llegarán al mismo tiempo al perihelio P, en cuyo punto las tres anomalias se confunden y son igualmente de 180°.

64 La diferencia entre la anomalia verdadera y la anomalia media forma lo que se llama la *equacion* (1) *de la orbita ó del centro.*

65 Siendo la anomalia media proporcional á los tiempos, ó una porcion del tiempo de la revolucion completa, es claro que puede medirse por toda cantidad que tenga un progreso uniforme; y asi, no solo el arco AG ó ángulo ACG y el sector circular ACG podrán tomarse indistintamente como anomalia media, sino el sector eliptico ó area AST formada por el radio vector ST el exe mayor SA y el arco AT de la elipse; pues se sabe, que las areas descriptas por el radio vector ST son proporcionales á los tiempos. Es, por consequencia, indiferente, que la expresion de la anomalia media sea una fraccion igual á la del tiempo pasado desde el afelio, tomando por unidad el total de la revolucion, ó la parte correspondiente del area del círculo ó de la elipse: aunque generalmente se cuenta en grados la anomalia media.

Con-

(1) Equacion es, generalmente en la Astronomía, la diferencia entre los tiempos ó grados supuestos uniformes, y estas mismas cantidades reales y desigules.

66 Convertir, pues, la anomalía media en verdadera es lo mismo que hallar el ángulo AST del sector AST, dada la relacion de su area á la de toda la elipse. Este es el problema que se llama de Keplero, porque este famoso astrónomo es el que lo propuso; pero su resolucion directa tiene dificultades que se ahorran invirtiendo la proposicion. Por esta razon, en la práctica se acostumbra suponer conocida la anomalía verdadera para deducir la media, y el método de resolver entonces el problema depende de los principios siguientes.

67 *Habiendo circunscripto un círculo* ADP *á la elipse* ATP, *y suponiendo* T *el lugar verdadero del planeta*, CG *la línea de la anomalía media*, *y* DTE *la ordenada que pasa por el lugar del planeta*: *el sector circular* ASD *es siempre igual al sector circular* ACG *de la anomalía media.*

Demostracion. Expresando por T el tiempo entero de la revolucion del planeta, y por *t* el interválo que gasta en pasar de A á T, se tendrá por la ley de Keplero *t* á T, como el sector AST á la superficie de la elipse. Como ACG representa la anomalía media, resultará tambien *t* á T, como ACG á la superficie del círculo; y por consiguiente, el sector AST al ACG, como la superficie de la elipse á la del círculo. Pero, siendo por una propiedad de la elipse, AST á ASD, como la superficie de la elipse á la del círculo, tendrémos tambien $AST : ACG = AST : ASD$, y por consiguiente $ACG = ASD$.

68 *En qualquier triángulo rectángulo TES, se tendrá, dividiendo el ángulo EST en dos partes iguales, tang.* $\frac{1}{2}\,TSE = \frac{TE}{ES+ST}$.

Demostracion. Tomando SH igual á ST, el ángulo THE resultará igual á la mitad de TSE, y

$$\text{tang.}\,THE = \frac{TE}{EH} = \frac{TE}{ES+SH} = \frac{TE}{ES+ST}.$$

69 *El radio vector ST es igual á* $\frac{PE \times SA}{CA} - SE$, *y haciendo* $CA = a$, $CE = x$, $CS = f$, *se tendrá, el radio vector* $= \frac{a^2+fx}{a}$.

Demostracion. Por una propiedad de la elipse se tiene, $ST + FT = 2a$; y, suponiendo $ST = a + z$, y $FT = a - z$, $TE^2 = y^2 = ST^2 - SE^2 = a^2 + 2az + z^2 - f^2 - 2fx - x^2 = FT^2 - (CE - CF)^2 = a^2 - 2az + z^2 - x^2 + 2fx - f^2$; de donde se deduce $2az - 2fx = -2az + 2fx$, ó $4az = 4fx$, y $z = \frac{fx}{a}$, y por consiguiente $ST = a + \frac{fx}{a} = \frac{a^2+fx}{a}$.

Por

70 Por cuyos principios se demuestran las siguientes proposiciones.

71 *La raiz quadrada de la distancia perihelio, es á la raiz quadrada de la distancia afelio: como la tangente de la mitad de la anomalia verdadera, á la tangente de la mitad de la anomalia excentrica.*

Demostracion. En los triángulos rectángulos TSE, DCE (67) se tiene esta proporcion, tang. $\frac{1}{2}$ TSE, tang. $\frac{1}{2}$ DCE $= \frac{TE}{SE+ST} : \frac{ED}{CE+CD}$. Por una propiedad de la elipse, tambien es ET: ED = CB: CA, y ademas (69) $SE+ST = PE \times \frac{SA}{CA}$, y $PE = CE + CD$; luego substituyendo se tendrá, tang. $\frac{1}{2}$ TSE: tang. $\frac{1}{2}$ DCE $= \frac{CB \times CA}{PE \times SA} : \frac{CA}{PE}$ $= CB : SA = \sqrt{(a^2 - f^2)} : a+f =$ (siguiendo las suposiciones del lema antecedente) $= \sqrt{(a-f)} : \sqrt{(a+f)}$, y últimamente tang. $\frac{1}{2}$ TSE: tang. $\frac{1}{2}$ DCE $= \sqrt{PS} : \sqrt{SA}$.

72 *La diferencia entre la anomalia excentrica y la anomalia media, es igual al producto de la excentricidad por el seno de la anomalia excentrica.*

Demostracion. Siendo (67) el sector circular ASD igual al sector de la anomalia media ACG, quitando de ambos la parte comun ACD, resultará el el sector DCG igual al triángulo CDS. Ademas, la superficie del sector circular DCG es igual al producto de CD por la mitad del arco DG, y la superficie del triángulo CDS igual al producto de CD por la mitad de la altura SK; luego será $\frac{1}{2}$ CD $\times$ DG $= \frac{1}{2}$ CD $\times$ SK, y DG $=$ SK, ó el arco DG igual á la línea recta SK; y siendo en el triángulo rectángulo SKC, SK $=$ CS $\times$ sen. SCK, resultará DG $=$ CS $\times$ sen. SCK $=$ CS $\times$ sen. ACD. Que es lo que se habia de demostrar, atendiendo á que DG es la diferencia entre la anomalia excentrica AD y la anomalia media AG.

73 Como en el uso general todas las anomalías de los planetas se expresan en grados, es necesario que la excentricidad se exprese tambien del mismo modo: y así, si la medida que se tiene de esta se refiere á alguna unidad diferente, como al radio ó distancia del centro al vértice de la elipse, se deberá reducir á minutos y segundos ántes de emplearla en los cálculos.

74 Por medio de estos dos teoremas puede resolverse facilmente el problema de Keplero, suponiendo una anomalia verdadera qualesquiera, y convirtiéndola en media por las reglas anteriores: variando la suposicion quando la que resulte no sea igual á la anomalia media dada, hasta que se atine

con

con una anomalia verdadera que la produzca exâctamente. Los conocimientos ya adquiridos del movimiento de los planetas hacen muy facil el caer en la suposicion conveniente, casi á primera vista.

75 Calculada la anomalia verdadera, será facil hallar la distancia del planeta al Sol ó radio vector, por el teorema siguiente.

76 *El seno de la anomalia verdadera, es al seno de la anomalia excentrica: como el semiexe menor de la elipse, al radio vector.*

Demostracion. Tirando la línea DM paralela al radio vector TS, se tendrá por los triángulos semejantes esta proporcion, ST : DM = TE : DE = CB: CA (= CD). Asi ST : CB = DM : CD = sen. MCD : sen. CMD = sen. ECD : sen. EST, y por consiguiente, sen. EST : sen. DCS = CB : ST.

DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS de una orbita.

77 *Los elementos de una orbita* son la excentricidad, el lugar del afelio, y la época del lugar medio.

78 Para hallar la excentricidad sirve la equacion de la orbita, y recíprocamente, como sigue.

79 La equacion de la orbita es nula en A, *Fig. 17.* es-

esto es, en la apsida superior. Partiendo de este punto la diferencia de los lugares verdadero y medio aumenta con rapidez; porque, verificándose la velocidad verdadera mas lenta en A, difiere todo lo posible de la velocidad media, y aquella diferencia crece mientras la velocidad verdadera es menor que la velocidad media. Esto sucede hasta el punto en que son iguales, que es el en que la equacion, habiendo adquirido todo su incremento, cesa de aumentar conservándose por algun tiempo casi la misma, para disminuir despues hasta la apsida inferior, en donde el lugar verdadero y el medio vuelven á unirse. La equacion es, pues, substractiva del lugar medio ó anomalia media para tener el lugar verdadero, en los seis primeros signos; porque la velocidad media, partiendo de la apsida superior, es mayor que la velocidad verdadera: y lo contrario despues del pasage P en donde sucede la máxima velocidad verdadera.

80 La máxîma equacion, y el grado de anomalia media en que se verifica pueden hallarse, calculando el punto T donde la velocidad media es igual á la verdadera. En este punto es evidente, que lo anomalia media cesa de adelantarse respecto á la anomalia verdadera y difiere entonces todo lo posible; porque hasta aquel término la velocidad real, sien-

siendo menor, causaba un continuo retardo del lugar verdadero respecto al medio: y por que, quando la velocidad verdadera ha llegado á ser igual á la media, aquella se abanza á ganar lo perdido, el lugar verdadero se aproxíma al lugar medio, y la equacion de la orbita disminuye. Busquemos, pues, un medio para hallar el punto T y la anomalía verdadera del planeta AST, en el instante en que su velocidad verdadera es igual á la velocidad media.

81 Habiendo tomado una línea ST media proporcional entre los dos semiexes de la orbita, descríbase con ella, como radio y desde el foco S como centro, un círculo TDK, y la superficie de éste será igual á la de la elipse, segun se demuestra en las Secciones cónicas. Supongamos un cuerpo que describe el círculo TDK, en un tiempo igual al de la revolucion del planeta en su elipse. Su velocidad angular será constantemente igual á la velocidad angular media del planeta, y el area descripta en el círculo igual al area descripta en el mismo tiempo en la elipse. Así, la velocidad verdadera del astro será igual á la velocidad media en T, esto es el ángulo BSE lo mismo que HSG, como resulta de la consideracion de los dos sectores: y, para tener el punto de la velocidad media, no habrá mas que hallar Fig. 18.

el de la interseccion de la elipse y el círculo que la es igual en superficie.

Á este fin, tirando desde el punto T al otro foco F de la elipse la línea TF, resultará un triángulo FST, en el qual se conocen los tres lados: á saber SF duplo de la excentricidad, ST media proporcional entre los dos semiexes, y FT diferencia entre ST y el exe mayor. Resolviendo, pues, este triángulo se encontrará el ángulo TSF, ó la anomalia verdadera del planeta en el tiempo de la máxîma equacion.

82 Tambien puede hallarse la equacion por las observaciones. Determinando el lugar del planeta por dos observaciones hechas en los instantes en que se halla en T y K, se tendrá el ángulo TSK igual á la suma de las dos anomalias verdaderas: y como la suma de las dos anomalias medias debe exceder á aquella en el duplo de la máxîma equacion, la diferencia entre el movimiento medio, calculado para este intervalo por el conocimiento ántes adquirido del tiempo necesario para la revolucion entera y el movimiento medio observado, dará dicho duplo, y por conseqüencia la máxîma equacion que se desea. El movimiento verdadero será mas considerable, si la primera observacion se hace ántes del perihelio, y la segunda despues: y al contrario si el afelio

lio se halla entre las dos observaciones.

83 Para distinguir los tiempos y observaciones convenientes á aquella operacion, quando no se conoce la situacion de la orbita del planeta y por consiguiente tampoco la posicion de los puntos T, y K en el Cielo, no hay mas que comparar dos á dos un gran número de lugares observados, y ver en quanto difiere el movimiento verdadero observado del movimiento medio calculado para cada interválo: y la mayor entre todas las diferencias dará el duplo de la máxîma equacion. Pero, teniendo ya el conocimiento á corta diferencia de la posicion de la línea de las apsidas, como sucede con los planetas, y de las distancias medias, podrán elegirse inmediatamente las observaciones hechas en los tiempos convenientes.

84 Pero siendo muy raro el tener dos observaciones hechas justamente en los puntos T, y K de la velocidad media, no podría por el primer cálculo hallarse exâctamente la cantidad de la equacion. Sin embargo, teniendo despues poco mas ó ménos la equacion y el lugar de la apsida, no habrá mas que calcular para los dos instantes de las observaciones la equacion de la orbita y la máxîma equacion: con lo que se sabrá de quanto la equacion dada por las observaciones debia diferir de la

máxîma, y por consiguiente lo que se ha de añadir para tener la verdadera cantidad de esta.

85 Para inferir despues la excentricidad de la máxîma equacion observada, puede emplearse una regla de falsa posicion, esto es, suponer conocida la excentricidad que se busca, para deducir de ella la máxîma equacion. Pero alterando la excentricidad supuesta, y repitiendo el cálculo hasta atinar con la verdadera, que dará la equacion que se conoce.

86 Tambien puede deducirse la excentricidad de la máxîma equacion directamente, por el siguiente método, cuya exáctitud exîge que la cantidad que se busca sea pequeña. Por lo demostrado (72)
Fig. 17. es $DG = CS \times \text{sen.}\ ACD$, y por consiguiente, tirando la perpendicular SK á la línea DC prolongada, $DG = SK$. Pero se percibe facilmente, que en las orbitas poco excentricas al tiempo de la máxîma equacion la perpendicular SK queda sensiblemente confundida con la excentricidad SC; luego siendo tambien en tal caso la excentricidad convertida en grados igual con corta diferencia á la mitad de la máxîma equacion (veanse las Lecciones de Astronomía de La Caille §. 224) del centro, se hará la siguiente proporcion, cuyo quarto término dará una cantidad sensiblemente igual á la excentricidad en las orbitas poco excentricas, pero algo mayor en las muy

muy excentricas. *El valor del diámetro del circulo en grados, es á la máxîma equacion de un planeta: como el semiexe mayor de su elipse, al quarto término indicado.*

87. Veamos ahora el método de determinar el afelio.

Sea A el afelio de un planeta, y B el perihelio. *Fig.* 16.
La parte AGB de la elipse es igual á la parte AHB, y ambas están descriptas en el mismo intervalo de tiempo. Al contrario, si se toman dos puntos M, y N opuestos respecto á S, el planeta empleará ménos tiempo en correr la parte NSA que la MSB, porque la primera comprehende el perihelio, esto es, el lugar donde se verifica la máxîma velocidad, y la segunda el afelio, en que el movimiento del planeta es el mas lento. Se vé, pues, que los puntos A y B de las dos apsidas son los únicos que, estando directamente opuestos respecto al Sol, dividen el tiempo de la revolucion total en dos intervalos iguales; y que asi, se conocerá la posicion de las apsidas, si se hallan dos lugares diametralmente opuestos como A, y B que correspondan á tiempos distantes entre sí de la mitad de lo que el planeta necesita para volver al mismo punto. Por tanto, para determinar el lugar del afelio ó posicion de las apsidas, bastará buscar, entre un gran número de obser-

servaciones de un planeta hechas en diferentes puntos de su orbita, las que dán estos lugares ; y si el interválo que separa estas dos observaciones es exâctamente igual á la mitad del tiempo de una revolucion completa, quedará probado que fuéron hechas en los del afelio y perihelio.

88 Quando entre las observaciones que se tienen solo se encuentran dos lugares opuestos en las proxîmidades de las apsidas, podrá deducirse facilmente el tiempo en que debe llegar á aquellos puntos de este modo. Sea MN la línea que, terminada en los dos puntos opuestos M, y N donde se ha observado el planeta, forma por su posicion un ángulo muy pequeño con la línea de las apsidas AB, y llamense T, y t los tiempos empleados en correr los espacios angulares MSB, y ASN, y v y V las velocidades con que el planeta los corre. Pudiendo considerarse como uniforme el movimiento del planeta en las cercanías de AB, los tiempos T, y t deben estár en razon inversa de las velocidades v y V; y asi $T : t = V : v$, y $V - v : V = T - t : T$; cuya proporcion puede usarse como se verá en el siguiente exemplo.

89 Por la comparacion de un gran número de observaciones hechas el año de 1740, resulta que el lugar de Mercurio á $4^h\ 9'\ 16''$ del dia 26 de

de Junio era de $2^s\ 13^\circ\ 9'\ 12''$, diametralmente opuesto al en que despues se halló á las 12 del dia 9 de Agosto. Y habiéndose pasado de una observacion á otra $43^d\ 19^h\ 50'\ 44''$, y siendo la mitad del tiempo de la revolucion de Mercurio de $43^d\ 23^h\ 37'\ 46''$, la diferencia en que la segunda cantidad excede á la otra manifiesta, que en aquel interválo Mercurio no habia pasado por su afelio; y conseqüentemente, que el 9 de Agosto al medio dia ☿ aun no se hallaba en la línea de las apsidas. Para saber, pues, el instante en que llegó á esta posicion, es necesario decir, segun lo demostrado y haciéndose cargo de que el tiempo de M á N es igual á media revolucion ménos T mas t: El exceso de la velocidad de Mercurio en su perihelio á la velocidad en su afelio, es á la velocidad en el perihelio: como la diferencia entre el interválo de tiempo que divide los dos lugares opuestos observados y la mitad del de una revolucion, al tiempo que debe añadirse al del segundo lugar para tener el instante del pasage por la línea de las apsidas. Asi, habiéndose observado la velocidad ácia el perihelio, esto es, el movimiento angular en 24 horas del 26 al 27 de Junio, de $6^\circ\ 23'\ 29''$, y la velocidad en el afelio referida á la misma unidad de tiempo, del 26 al 27 de Junio, de $2^\circ\ 44'\ 20''$,

se

se tiene, $3^{\circ}\ 39'\ 9'' : 6^{\circ}\ 23'\ 29'' = 3^{h}\ 47'\ 2'' : 6^{h}\ 37'\ 17''$; y por consiguiente se deduce, que el 9 de Agosto á $6^{h}\ 37'\ 17''$ fué el momento del pasage de Mercurio por su afelio. El mismo planeta corria entonces cada dia una distancia angular igual á $2^{\circ}\ 44'\ 20''$; luego en $6^{h}\ 37'\ 17''$ su variacion de lugar debió ser de $45'\ 20''$; y asi, el del afelio corresponde á $8^{s}\ 13^{\circ}\ 54'\ 32''$.

HIPÓTESIS FÍSICA PARA EXPLICAR el movimiento de los planetas.

90 El observador, que, sin perder de vista los resultados deducidos de sus observaciones, se propone hallar una hipótesis para explicar los fenómenos por las leyes de la Mecánica, podrá raciocinar de este modo. Pues que los planetas se mueven al rededor del Sol, nunca alejándose mas allá de ciertos límites, es evidente la exîstencia de alguna causa que los mantiene dentro de ellos. Sea esta, que llamarémos *fuerza central*, una atraccion ó potencia, por la qual el primer luminar atrae continuamente á todos los demas cuerpos colocados en sus proximidades, y está recíprocamente atraido por ellos. Se vé, que en virtud de tal fuerza los planetas se precipitarían directamente ácia el Sol, sino hubiese otra

otra causa que modificase la primera ; y que así , es necesario considerar el movimiento orbicular de cada planeta , como efecto de una atraccion que obra sin intermision para acercarlo al Sol segun una cierta ley , y de otra fuerza que , no teniendo causa perceptible á nuestros sentidos , podemos suponerla dimanada de una fuerza de proyeccion ó impulsion comunicada por algun golpe á los planetas. El conocimiento adquirido de la figura de las orbitas planetarias podrá servir , no solo para comprobar el resultado de este raciocinio , sino para hallar la ley con que obra la fuerza de atraccion : y en efecto, la Mecánica demuestra : que , *siempre que las orbitas planetarias sean secciones cónicas , la fuerza central varía en razon inversa de las distancias del planeta al foco que entonces ocupa el Sol.* Asi , Newton que , investigando la ley de las atracciones , pudo compararla con todas las cantidades que parten de un centro y se propagan en línea recta , como las de luz, olor , &c. no contento con la fuerza de esta anología , quiso establecerla sobre una demostracion matemárica , que fundó en el movimiento de los planetas , y hallando que la misma gravedad natural de los cuerpos terrestres , disminuida en razon inversa del quadrado de la distancia , es la fuerza central que retiene en su orbita á la Luna.

91 Establecida, pues, la fuerza universal por la qual todos los cuerpos se atraen en razon directa de las masas, y en inversa del quadrado de las distancias, la Mecánica tambien demuestra el siguiente principio, que es otra de las famosas leyes de Keplero.

Los quadrados de los tiempos de las revoluciones planetarias son como los cubos de las distancias medias del planeta al Sol.

92 Debe advertirse, que por distancia media
Fig. 17. se entiende la distancia SB del Sol al planeta, quando este se halla en el extremo B del exe menor de la elipse. Entonces SB es igual al semiexe mayor, ó medio equidiferente entre las distancias afelio y perihelio.

93 Con esta ley tenemos bastante para deducir las relaciones entre los exes mayores de las elipses que describen los planetas, por los tiempos de sus revoluciones. Y como las proporciones de las dimensiones de cada elipse en particular resultan conocidas por la observacion de sus excentricidades, podrán expresarse todas en medidas de una unidad comun, presentando asi idéas exâctas de todas las circunstancias relativas de las orbitas planetarias.

DE

DE LAS FUERZAS DE ATRACCION con que recíprocamente se alteran sus movimientos los planetas.

94 Como cada planeta, girando al rededor del Sol experimenta, ademas de la fuerza central necesaria para correr la seccion cónica de su orbita, las atracciones de todos los demas planetas, que son en direcciones diferentes y varían continuamente con las distancias, su movimiento resulta complicado de un gran número de perturbaciones, cuyo cálculo es uno de los asuntos que sirven de prueba al ingenio de los mayores geómetras. En particular las investigaciones hechas por algunos son de las mas sublímes de las Matemáticas, y deben estudiarlas todos los que se propongan profundizar en la Astronomía física; pero aqui solo darémos una ligerisima idéa del principio de tales cálculos.

95 Para tenerla del modo con que un planeta perturba el movimiento de los otros, debe considerarse, que, si dos planetas, de los quales el uno gira al rededor del otro, fueran atraídos igual y paralelamente por un tercero, esto es, si el efecto de la atraccion del último hiciese correr á los otros espacios iguales y paralelos en los mismos tiempos,

esta tercera fuerza no alteraría en nada su sistéma ó las relaciones del movimiento, y éstas continuarían las mismas observadas desde el centro de uno de ellos, justamente, como si solo el plano en que se executa el movimiento hubiese mudado de posicion en su mismo sentido. Asi, para calcular las alteraciones que provienen de la atraccion de un tercer cuerpo en el movimiento de un planeta, es preciso averiguar sus efectos tanto en el Sol como en el planeta, y deducir de las diferencias de ellos las desigualdades causadas por la fuerza perturbadora.

96 Contrayendo al exemplo de un planeta que gira al rededor del Sol el método de considerar las atracciones, se vé, que el efecto de esta fuerza, es tanto en el Sol de atraer el planeta, como en este de atraer el Sol; y que de la mutua tendencia de los dos cuerpos debe resultar un movimiento contemporáneo en ambos. Por consiguiente, para tener el movimiento relativo de la Tierra, hay que atender, no solo á la atraccion que reside en el Sol para acercarla á sí, sino tambien á la fuerza que exerce la masa de la Tierra, á cuya consequëncia precisamente muda de lugar el Sol. En los cálculos de la Astronomía se supone, sin embargo, que el Sol se halla perpetuamente fixo, sin que de este mé-

método resulten inexâctitudes; porque, trasladando á cada planeta el mismo movimiento que su atraccion causa en el Sol, la posicion respectiva de ambos cuerpos se conserva siempre la misma.

97 Atendiendo á la ley de la atraccion se vé, que esta fuerza puede generalmente expresarse por $\frac{M}{D^2}$, llamando M la masa del cuerpo que atraè, y D su distancia al atraido, y suponiendo siempre que ambas cantidades se refieren á unidades conocidas, como la masa de un planeta y su distancia al Sol.

Con este principio presente: sea Bp la orbita del planeta p, cuyo movimiento está perturbado por la atraccion del otro P que se mueve en la curva AP, M la masa de este, y a el ángulo PSp formado por los dos radios vectores PS, pS, que distinguirémos por R, r, como asimismo Pp por D. El planeta P atrae al otro p con una fuerza $\frac{M}{D^2}$, que puede descomponerse en dos que obran segun pC, y pS, iguales á $\frac{M}{L^2}\times\frac{pC}{Pp}=\frac{M\times R}{L^3}$, y $\frac{M}{L^2}\times\frac{pS}{Pp}=\frac{M\times r}{L^3}$. Y tomando como positivo el movimiento del planeta p en el sentido de la atrac- Fig. 19.

atraccion del Sol, en las expresiones antecedentes deberá ponerse la fuerza segun la direccion pC, ó SP con signo negativo, porque tira á alejar el planeta del Sol; y con esto tendrémos las dos fuerzas de la atraccion de P á p representadas por $\frac{-M \times R}{L^3}$, y $\frac{M \times r}{D^3}$. Veamos ahora qué uso puede hacerse de estas expresiones, para reducir las de la fuerza perturbadora á dos partes, de las quales una obre segun el radio vector pS, y otra en su perpendicular.

Siendo el efecto de la fuerza $-\frac{M \times R}{D^3}$, segun la direccion Cp ó PS, diferente de las dos propuestas, se sigue, que esta es la que deberá descomponerse, pero substrayendo ántes de su valor la atraccion con que el planeta mueve el Sol; porque la fuerza segun pC solo puede perturbar el movimiento de p por su exceso sobre la que al mismo tiempo obra para agitar el Sol. Asi, estando esta última representada por $\frac{M}{R^2}$, y haciéndose cargo de que su efecto es positivo porque tira á aproximar el Sol á p, queda reducida la parte de la fuerza perturbadora en la direccion Cp ó PS á á $-\frac{M\times R}{D^3}+\frac{M}{R^2}$. Descomponiéndola ahora en dos, una pD segun el radío vector Sp, y otra pF perpendicular á aquella, se tendrán, por razon de ser los ángulos CpD, PSp iguales, dos nuevas fuerzas representadas por $\left(-\frac{M\times R}{D^3}+\frac{M}{R^2}\right)\cos. a$, y, $\left(-\frac{M\times R}{D^3}+\frac{M}{R^2}\right)\text{sen.}\, a$.

Ya tenemos decompuesta la fuerza perturbadora en las dos $\left(-\frac{M\times R}{D^3}+\frac{M}{R^2}\right)\cos. a$, y $\frac{M\times r}{D^3}$ que obran segun el radío vector, y la $\left(-\frac{M\times R}{D^3}+\frac{M}{R^2}\right)$ sen. a, cuya direccion es perpendicular á la primera. Asi la atraccion de un planeta á otro podrá expresarse generalmente por la fuerza $\frac{M\times r}{D^3}$ $+\left(\frac{M}{R^2}-\frac{M\times R}{D^3}\right)\cos. a$, que se dirige segun el radio vector en el sentido de la misma atraccion del Sol al planeta perturbado, y la otra $\left(\frac{M}{R^2}-\frac{M\times R}{D^3}\right)$ en. , perpendicular á ella.

Co-

98 Conocida por las fórmulas antecedentes la fuerza perturbadora á cada instante, resta que determinar, por medio del cálculo, su efecto en el mismo instante para alterar la orbita, y la suma de estos efectos repetidos una multitud de veces, para averiguar el que resulta en un tiempo finito ó intervalo qualquiera. Esta es la principal consideracion del famoso problema de los tres cuerpos, cuyo objeto general se reduce *á hallar la orbita de un planeta atraido por el Sol en razon inversa de la distancia, y perturbado al mismo tiempo por dos fuerzas muy pequeñas respecto á la primera, de las quales, una obra segun el radio vector y otra perpendicularmente.* Considerado, pues, de este modo el problema, su resolucion consta de dos partes: 1° establecer la equacion diferencial: 2° integrar esta equacion. Esto solo ha podido conseguirse hasta ahora por los métodos embarazosos y lentos de las aproximaciones, pero, en las mismas dificultades de los progresos consiste el mérito de los grandes geómetras que han sabido abrirse caminos para elcanzar por rodeos, digamoslo asi, un objeto directamente inaccesible. El lector, que se halle en estado de sentir el espíritu de estas operaciones y quiera profundizar tan importante punto de la Astronomía física, deberá consultar, sobre todo, las obras de Euler, Clairaut,

d'

d' Alembert, la Grange, la Place y otros célebres matemáticos, que se encuentran publicadas en las Memorias y Premios de las Academias.

99 Pero, ántes de dexar este punto, notarémos, porque nos será útil en lo sucesivo:

1° Que, segun lo demostrado, la línea de las apsidas de un planeta debe mudar de posicion en el Cielo, á conseqüencia de la perturbacion de un tercer cuerpo, ó por mejor decir, que no describiendo ya una elipse, la mayor dimension de la orbita será variable. Las observaciones manifiesten, en efecto, que los afelios de todos los planetas tienen un corto movimiento, segun el orden de los signos; pero los astrónomos suponen, para mayor facilídad, que el planeta continúa siempre en una elipse, pero que esta misma elipse se mueve.

2° Suponiendo ademas, que el cuerpo perturbador P esté fuera del plano determinado por el pequeño espacio *pm* que correría el planeta, sino experimentáse aquel desarreglo, es claro tambien, que su orbita no estará sujeta á plano alguno; y que, para considerar al planeta en el mismo plano, será necesario suponer, como lo hacen los astrónomos, que éste muda de situacion continuamente. *Fig. 19.*

SEGUNDA PARTE.

QUE CONTIENE LA EXPLICACION de los principales fenómenos vistos desde la Tierra.

FENÓMENOS GENERALES CAUSADOS por el movimiento diurno de la Tierra, y círculos que se consideran en ambas esferas.

100 La teórica de los movimientos celestes establecida por el observador desde el centro del Sol debe servir ahora, para no confundir en la explicacion de los fenómenos que se presentan á qualquier habitante de la Tierra, las apariencias procedentes de causas reales con las que son meras ilusiones opticas, dimanadas de su propia posicion y movimiento. Asi, aunque parezca que todos los astros sin excepcion hacen cada dia un giro completo al rededor de la Tierra en círculos desiguales sensiblemente paralelos: que cada estrella corre siempre un mismo círculo: que el Sol y los planetas varían de unos á otros &c. será facil hacerse cargo, de que estos son efectos aparentes que resultan de los dos movimientos reales con que la Tierra executa su re-

revolucion anual al rededor del Sol y la rotacion diurna sobre su exe. Las ilusiones opticas de esta especie son muy comunes, aun en los movimientos inmediatos cuyas relaciones conocemos, y nadie habrá que dexe de haberlas notado. Todo el mundo sabe, por exemplo, que, conservando la misma situacion respecto al todo de la embarcacion que nos transporta, siempre parece que las costas y demas objetos próxîmos, que están realmente en reposo, son los que se mueven en sentido opuesto al de la marcha del buque; y que sin duda continuaríamos en creerlo inmovil, si por medio del raciocinio no emendasemos el error del primer juicio. Por esta razon, hallándonos inclinados á atribuir á los astros el movimiento real del ojo que los mira, y executando cada dia la Tierra con velocidad uniforme una rotacion completa sobre uno de sus diámetros, es bien natural que todos los astros nos parezcan completar cada dia un giro uniforme al rededor del exe de la Tierra prolongado hasta el Cielo, y describir círculos paralelos, como si se hallasen sujetos en la concavidad de una esfera concentrica á la Tierra y que hiciese su rotacion en el mismo tiempo y sobre la misma línea que ella.

101 Para considerar ahora las circunstancias del movimiento real de la Tierra sobre su exe ó del

aparente de los astros, es necesario establecer algunos términos á que referirlos.

Fig. 20. 102 El ojo de un observador colocado en un punto de la superficie de la Tierra T como O, no puede ver mas que la parte del Cielo superior, ó que está sobre su cabeza terminada, por el plano HOR tangente á la superficie convexâ de la esfera terrestre en O; pues la otra inferior, comprehendida desde HOR ácia abaxo ó en la direccion de sus pies, es invisible por razon de la opacidad de la Tierra. Y como, mientras que el ojo se mantenga en O, no le pueden llegar los rayos de luz despedidos de los cuerpos situados debaxo de HOR, no solo le será imposible ver al mismo tiempo mas de la mitad del Cielo, sino que tampoco le será dable descubrir otros objetos terrestres que los que se hallen á la sazon superiores ó confundidos con el plano tangente HOR. Por esta razon, los objetos situados sobre la superficie de la Tierra no pueden verse de lejos, á ménos de elevar el ojo, como en O′; porque entonces, los rayos tangentes O′A, O′B, que forman un cono cuyo vértice es el ojo, aumentan el campo de la vista, que en tal caso descubre mas de la mitad del Cielo. Las desigualdades de la superficie de la Tierra son las únicas causas que producen varias alteraciones en este mo-

modo de ver, tanto los objetos celestes, como los terrestres; pues es muy freqüente, que nuestra posicion en una hondonada ó la interposicion de alguna eminencia impida el percibir los cuerpos, que sin aquel embarazo se hallarian patentes á nuestros ojos.

103 Como la línea que separa en el Cielo la parte visible de la que no vemos es el término mas sencillo á que pueden referirse los movimientos celestes, se deberá, despues de distinguir las especies que resultan de las diversas posiciones del ojo, fixar la idéa de uno que sea propio para servir constantemente á aquel objeto. Por esto, en general, llamarémos *horizonte* (1) *sensible* á la curva que termina en el Cielo el campo de vista, de qualquier modo que el ojo esté situado. Y *horizonte racional* á un círculo máximo de la esfera aparente, cuyo centro coincida con el ojo del observador colocado en la superficie de la Tierra, y cuyo plano sea tangente á la misma superficie. Este horizonte racional, que llamarémos en adelante simplemente horizonte, divide la esfera celeste aparente en dos hemisferios igua-

(1) En los principios de Geografía hemos ya dado estas definiciones, pero aqui las repetimos, para no hacer absolutamente necesaria su previa lectura.

iguales: y decimos que los astros tienen alguna altura ó están elevados sobre el horizonte, quando se hallan en el hemisferio superior ó visible, y al contrario quando corresponden al inferior ó invisible.

104 Si por el centro T de la Tierra y el punto O donde se supone el ojo del observador, se tira un radio indefinido TOZ, éste será perpendicular al horizonte, y el punto Z del Cielo en que parezca terminarse estará igualmente distante de todos los puntos de la circunferencia del horizonte, y será, por consiguiente, el polo de este círculo. Este punto Z es el que se llama *zenit*.

105 El zenit sirve para conocer la *altura* de los astros; porque, á proporcion del ángulo EOZ formado en el ojo O por las visuales EO, OZ al zenit y al astro, debe ser su distancia aparente al horizonte. El zenit es, pues, como se vé, el término de la mayor altura posible: y en general, la medida de la altura de un astro es el arco de círculo máximo de la esfera celeste ER imaginado perpendicularmente al horizonte, ó lo que es lo mismo, el complemento del arco ZE comprehendido entre el zenit y el astro.

106 El horizonte y zenit de un observador continúan inmoviles en el Cielo todo el tiempo que su situacion en la superficie de la Tierra es tambien

la

la misma; pero, inmediatamente que muda de lugar, la línea del zenit al ojo varía formando un ángulo en el centro de la Tierra con la primera; y, por consequencia, el zenit corresponde en el Cielo á un punto diferente, y los dos horizontes resultan mutuamente inclinados de un ángulo, que puede medirse en el Cielo por el ángulo comprehendido entre aquellos dos puntos. Las mutaciones aparentes del Cielo pueden, pues, ser útiles, para venir en conocimiento de la mudanza de lugares en la Tierra, segun ya indicámos.

107 El movimiento diurno de la Tierra seña- *Fig.* 21.
la en el Cielo otros círculos y puntos que merecen atencion particular. Supongamos que $pqp'e$ representa un círculo máximo de la esfera terrestre: y concíbase girando uniformemente sobre su exe pp'. No tiene duda, que entonces cada punto l de la superficie de la Tierra describirá un círculo lm, cuyo centro r estará en el exe pp' y cuyo radio lr será la perpendicular al mismo exe: siendo el punto e, igualmente distante de los puntos p y p', que llamarémos simplemente *polos*, el que corre mayor círculo.

108 Este círculo, que divide el globo terrestre en dos mitades, es el *equador*. Y se vé, que los círculos descriptos por todos los puntos de la Tierra son paralelos entre sí y al equador: de modo, que,

á

á iguales distancias en ambos lados de este círculo máxîmo, los círculos son iguales, y tienen por radios los senos de los arcos que miden sus distancias al polo mas próxîmo ó el coseno de los que miden las distancias al equador.

109 Llámanse *círculos paralelos* ó simplemente *paralelos*, los descriptos de aquel modo, por los puntos de la superficie de la Tierra.

110 Suponiendo la misma rotacion de ésta sobre su exe pp', un observador colocado en su superficie, juzgará á primera vista, que todos los astros se mueven en sentido contrario con velocidades desiguales: de modo que, si alguno se halla en los puntos P y P′ determinados en el Cielo ó esfera celeste por el encuentro de la prolongacion ácia ambos estremos del exe pp', parecerá sin movimientos; y las velocidades de los demás irán aumentando, segun sus distancias á aquellos puntos sean mayores, hasta el círculo máxîmo EQ formado por la continuacion del equador terrestre eq, donde se verifica la máxîma velocidad. Este círculo EQ se nombra *equador celeste*, y los puntos P y P′, que son sus polos y determinan el exe sobre el qual giran al parecer los astros, se llaman los *polos del Mundo*.

111 Los polos ó puntos inmoviles señalados en el Cielo por el movimiento diurno, se distinguen lla-

llamando polo del norte &c. al que corresponde á este polo de la Tierra, y polo del sur &c. al opuesto (P. G. 81.).

112 Desde qualquier pais de la Europa es facil distinguir en el Cielo el lugar del primer polo; porque lo indica una estrella que, estando muy cerca de aquel punto fixo, se vé sensiblemente en la misma posicion á todas horas y estaciones. Asi, qualesquiera que, sin el auxilio de la instruccion de otro, quiera conocer la estrella polar, lo conseguirá facilmente, aunque nunca ántes haya observado el Cielo, con solo comparar durante una parte de la noche las situaciones en que se ván encontrando sucesivamente las estrellas, respecto á los montes, á las casas ó á otros objetos fixos, pues por este medio no podrá ménos de percibir la estrella polar, que conserva siempre la misma posicion á corta diferencia. Lo mismo podrá conseguirse por las constelaciones de la Osa mayor, segun ya hemos explicado (21).

113 Si, por el centro de la Tierra T y por un punto qualquiera de su superficie como *l*, se imagina una recta T*l* prolongada hasta el Cielo, su extremo L describirá por la revolucion diurna un círculo LM, que es el que parecerá correr un astro situado en L, y corresponderá al paralelo ter-

restre *lm* descripto realmente por el punto *l*. Del mismo modo, si se supone LT prolongada por la otra parte hasta la esfera celeste en L′, el astro que se halle en este punto describirá un círculo M′L′ igual á LM, y que será tambien correspondiente al otro paralelo *m′l′*. Todos los círculos como LM, descriptos aparentemente por los astros en el movimiento diurno, tienen pues sus semejantes en los paralelos terrestres determinados por los puntos *l* que les corresponden, y son paralelos entre sí y al equador celeste. Llámanse, por esto, *paralelos celestes*. Y se vé, que, siendo un paralelo celeste y su correspondiente terrestre dos círculos de un mismo cono, cuyo vértice está en el centro de la Tierra, sus planos nunca podrán coincidir sino en el equador celeste, cuyo plano y el del equador terrestre vienen á ser uno mismo, porque entonces se desvanece el cono confundiéndose la basa con el vértice.

114 Como la distancia LE del astro L ó paralelo LM al equador celeste EQ, que es lo que se llama *la declinacion* del paralelo ó astro, es igual á la distancia *le* del lugar *l* al equador terrestre se vé, que el arco de la distancia de un observador al equador terrestre, ó lo que es lo mismo su latitud geográfica, es igual á la declinacion del astro L que pasa por su zenit. Y como las declinaciones de los as-

astros se distinguen en boreales y australes, segun los polos de que están ménos distantes, es claro que, aun sin saber la especie de la latitud de un lugar, siempre que se dé la declinacion del astro que pase por el zenit podrá venirse facilmente en conocimiento de la latitud que tiene. Asi, suponiendo ademas, que este astro sea una estrella, que no tiene otro movimiento que el aparente diurno, el observador conocerá de quantos grados ha variado su latitud ó distancia al equador, por las diferencias de las distancias á que habrá observado esta estrella respecto al zenit de los diferentes lugares que ha corrido.

MOVIMIENTOS APARENTES DEL SOL causados por los dos movimientos reales de la Tierra.

115 Antes de proseguir á exâminar los fenómenos particulares que proceden del movimiento diurno de la Tierra, será aproposito presentar alguna idéa de los movimientos aparentes que resultan en el Sol por la combinacion de los dos reales de la Tierra.

116 Aunque el Sol se halle fixo, como todo el Cielo dá una vuelta aparente al rededor del exe

terrestre en virtud de la rotacion diurna de nuestro globo, es claro, que el Sol debe tambien parecernos animado del movimiento comun con que todos los astros verifican este giro cada dia. Pero, teniendo la Tierra otro movimiento por el qual corre su orbita, dando una vuelta en un año al rededor del Sol, se vé, que el movimiento aparente del Sol resultará complicado de los fenómenos procedentes de éste, y que sus apariencias deberán variar á proporcion de las distancias á que se observen, segun los puntos de su elipse en que sucesivamente se halle la Tierra. Pero, para caminar con orden, exâminémos mas particularmente como resulta el movimiento anuál aparente del Sol.

Fig. 22. 117 Sea S el Sol, *abpd* la orbita terrestre que tendrá uno de sus focos en S, y en este mismo plano concíbase un círculo descripto desde S con un radio que pueda considerarse infinito respecto á las dimensiones de la elipse. En esta suposicion, todo el espacio de la superficie eliptica *abpd* viene á ser un punto comparado al area del círculo; y por esta razon, será indiferente tomar qualquier punto dentro de la elipse ó en su circunferencia como el verdadero centro del círculo ADPB. Asi, tirando la recta *a*SA, se vé, que quando la Tierra se halla en su afelio, el Sol deberá correspon-

ponder aparentemente en el Cielo al punto A, distante de seis signos del P en que á la sazon se vería la Tierra desde el Sol. Del mismo modo, habiendo llegado algun tiempo despues la Tierra al punto *b*, el Sol corresponderá aparentemente al punto B; y por consequencia deberá parecer que el Sol ha corrido en este intervalo el arco AB. Al hallarse la Tierra en su perihelio, el Sol parecerá tambien en P; y en este tiempo se vé que el Sol habrá corrido el arco BP aparentemente. Al paso, pues, que la Tierra describa en su orbita los arcos elipticos *ab*, *bp*, *pd*, *da*, el Sol parecerá moverse describiendo los arcos AB, BP, PD, DA. Y como el movimiento orbicular de la Tierra no es uniforme, y sus distancias al Sol varían á cada instante, es claro, que el Sol parecerá tambien moverse en los arcos AB, BP &c. con la misma desigualdad de velocidades, y que su diámetro aparente visto desde la Tierra experimentará todas las alteraciones que se observarían desde el Sol en el de la Tierra.

118 Quando se trate, pues, de los puntos del Cielo á que el Sol corresponde en apariencia, podrá suponerse que su movimiento se executa en el círculo infinito ADPB, que se llama *ecliptica*, cuyo centro es el mismo de la Tierra, en qualquier punto de su orbita en que ésta se halla. Los cálculos

los del movimiento verdadero de la Tierra y conocimiento de la figura de su orbita deben servir, para averiguar la verdadera direccion del radio tST y las relaciones de las distancias St á qualquier momento dado. Este método consiste en referir el movimiento aparente del Sol ó real de la Tierra á la concavidad del Cielo, por cuyo medio, las diferencias angulares de las posiciones en que sucesivamente se hallan pueden considerarse como verificadas en un círculo máximo de la esfera celeste: y el mismo modo de considerar los movimientos se aplica tambien á todos los astros, como los planetas y cometas, sean las que fueren las figuras de sus orbitas.

119 Como el movimiento aparente del Sol en la ecliptica es precisamente igual al de la anomalia verdadera de la Tierra, la teórica del movimiento de la Tierra vista desde el Sol es exâctamente la misma que la del movimiento del Sol visto de la Tierra. En adelante hablarémos, pues, del movimiento del Sol en la ecliptica, como si fuese real y darémos las expresiones de los lugares en que se considera; por las quales, añadiendo ó restando seis signos, podrán deducirse los de la Tierra en los mismos instantes. Y siendo preciso establecer algun término fixo para la comparacion de los movimientos anuales de los astros que los tienen, elegirémos á este fin el pla-

plano de la ecliptica, que, como determinado por su mismo movimiento anual, es el mas natural y cómodo para un habitante de la Tierra.

120 Para exâminar ahora las combinaciones que resultan de los movimientos anual y diurno del Sol, es de advertir que los planos del equador y de la ecliptica son diferentes: de modo, que el círculo corrido por el Sol en el movimiento diurno se separa del equador y es variable. Sea el círculo CALD la ecliptica y EAQD el equador celeste; *Fig.23.* los quales, siendo ambos círculos máxîmos de la esfera celeste, se dividirán recíprocamente en dos partes iguales. Si suponemos que el Sol se halla y permanece en el punto de interseccion A todo el tiempo que dura la rotacion diurna, no tiene duda, que en virtud de este movimiento describirá el equador EAQD. Pero como por razon del movimiento anual, que continúa sin intermision, debe el Sol cada dia adelantar en la ecliptica un grado poco mas ó ménos, al espirar el intervàlo de la revolucion diurna, que principió al instante en que estuvo en A, el Sol habrá corrido un grado de A á L, y en su movimiento diurno sucesivo ya deberá describir un paralelo algo distante del equador. Al paso, pues, que se aumenta el número de las revoluciones diurnas, creciendo tambien el arco de la eclipti-

tica descripto en virtud del movimiento anual, debe continuar el Sol alejándose del equador y describir cada dia un paralelo menor que el antecedente: por exemplo, al llegar á F el paralelo BF. Suponiendo que P es el polo boreal del Mundo, el Sol, despues de tres meses de su posicion en A, se encontrará en el punto mas distante del equador á tres signos de la interseccion A, y entonces estará en su máxîma declinacion boreal, se habrá acercado lo posible al polo boreal, y describirá su minimo paralelo TL. En los tres meses siguientes, el Sol, moviéndose de L ácia D, se aproxîmará al equador, su declinacion boreal irá disminuyendo, y los paralelos que describe en el movimiento diurno aumentarán: de modo, que, llegando á la otra interseccion D de la ecliptica y equador, su declinacion será nula y describirá segunda vez el equador celeste. Pasado este término, y continuando en el mismo sentido, el Sol entrará en el hemisferio austral del Cielo, su declinacion austral irá creciendo, y sus paralelos disminuyendo hasta que, al llegar al punto C, á tres signos de D, verificará su máxîma declinacion austral y describirá su minimo paralelo CH. Ultimamente, el Sol, continuando siempre su carrera, volverá á aproxîmarse al equador y á disminuir su declinacion austral: de modo que, llegando á A un

año

año despues de haberse hallado en este mismo punto, estará otra vez en el equador, y seguirá su curso, que repetirá siempre con fenómenos iguales.

121 Por estas consideraciones es claro, que el Sol, cuyo movimiento en la ecliptica es sensible en el intervålo de una rotacion diurna, nunca puede describir un exácto paralelo al equador, y que las curvas que corre en apariencia cada dia son como las espirales que formaría un hilo dando muchas vueltas á un cierto espacio de la esfera. Sin embargo, como la diferencia en declinacion de los puntos en que se halla al principiar y concluir una revolucion diurna es siempre corta, en muchos casos de la Astronomía se supone que el Sol corre precisamente un paralelo exâcto y distinto en cada uno de aquellos intervålos.

122 Los dos paralelos minimos TL, y CH que el Sol describe, se llaman *tropicos*; porque, llegado á ellos, retrocede, volviendo á aproxîmarse al equador. Llámase *tropico de Cancer* el que está en el hemisferio boreal, y *tropico de Capricornio* el mas cercano al polo austral; porque, quando el Sol los describe, corresponde al tercer signo ó de Cancer y al signo nono ó de Capricornio.

123 Las intersecciones A, y D de la ecliptica y equador se llaman *puntos equinocciales*, por la razon

que se verá despues: y se distinguen, llamando al punto A, por donde pasa el Sol yendo del tropico de Capricornio al tropico de Cancer, *punto del equinoccio de primavera*, *ó primer punto de Aries*, y al otro D, situado en la carrera del Sol desde el tropico de Cancer al de Capricornio, *punto del equinoccio de otoño*, *ó primer punto de Libra*.

124 Los puntos L, y C, distantes de tres signos de los equinocciales, se llaman *puntos de los solsticios*; porque, quando el Sol se halla en ellos, parece como estacionario ó sin movimiento respecto al equador. Este es un efecto de las posiciones de aquellos puntos; pues, si se imaginan dos tangentes á la ecliptica conducidas por C, y L, se vé que habrá un pequeño arco de ella que se confunda con la tangente en L y otro igual con la tangente en C; y como estas tangentes son paralelas al plano del equador EQ es claro, que todo el tiempo que el Sol tarde en describir aquellos arcos de la ecliptica, parecerá en las tangentes, y por conseqüencia no variará su distancia al equador sensiblemente. Los puntos solsticiales se distinguen, llamando *punto del solsticio de verano* al mas próxîmo al polo boreal, y *punto del solsticio de invierno* al otro, por razon de que el Sol llega al primer punto en la estacion del verano para la Europa, y al último en la del invierno.

Tam-

125 Tambien se imaginan otros dos círculos máxîmos en la esfera celeste, cuya posicion conocida sirve para facilitar las comparaciones de los movimientos de los astros. El uno se llama *coluro de los solsticios*, y es el círculo EPQP′, que pasando por los puntos solsticiales L, C, y los polos $p\,p'$, P P′ de la ecliptica y equador es al mismo tiempo perpendicular á estos dos círculos: y el otro que se llama *coluro de los equinoccios*, y es el círculo representado por su diámetro PP′, que pasa por los polos del equador P, P′ y los puntos equinocciales D, A.

126 Como el coluro de los solsticios corta perpendicularmente el equador y todos sus paralelos, es claro, que puede usarse para medir sus declinaciones y respectivas distancias. Asi, los arcos FQ ó BE miden la declinacion del paralelo BF, y por consiguiente la del Sol quando se encuentra en el punto M de la ecliptica. Del mismo modo, los arcos LQ, ó TE, y QH, ó EC manifiestan la máxîma declinacion á que el Sol llega en su movimiento anual, y por consiguiente el ángulo formado por los dos planos del equador EQ y ecliptica CL. Este ángulo, que mide la inclinacion de aquellos dos círculos, es lo que se llama *obliqüidad de la ecliptica*.

DE LOS FENÓMENOS CAUSADOS por el movimiento diurno de la Tierra, segun las diferentes posiciones del observador en su superficie.

127 En la esfera se distinguen tres posiciones diferentes, por los fenómenos que resultan en sus apariencias de la situacion del horizonte respecto al equador. Supongamos al observador en un punto de la circunferencia del equador terrestre: la línea de su zenit será un diámetro EQ del equador celeste; y su horizonte, que pasará por los dos polos P y P′, será perpendicular á aquel círculo máximo y á todos sus paralelos CD, AB, GH &c. por lo qual se dice, que la esfera está recta para un habitante situado en el equador. En esta posicion las mitades de todos los paralelos que caen ácia el zenit Q están sobre el horizonte, y la otra mitad debaxo; por consiguiente, todos los astros son visibles exâctamente la mitad del tiempo de la revolucion diurna; y asi el observador deberá verlos elevarse cada dia durante seis horas, descender durante otras seis horas, y ocultarse debaxo del horizonte durante doce horas: pareciendo su movimiento al aparecer y desaparecer en direccion perpendicular al horizonte. *Fig. 24.*

Por

128 Por lo que toca á los planetas y demas astros, que corren orbitas particulares en virtud de un movimiento propio, por el qual corresponden sucesivamente á diferentes estrellas, deberán del mismo modo gastar seis horas á corta diferencia en elevarse, seis en descender, y doce en estár debaxo del horizonte: con la diferencia de que, las estrellas fixas describen siempre sensiblemente el mismo paralelo, y que los demas astros corren todos los dias paralelos diferentes, segun las distancias de los puntos de las orbitas á sus intersecciones con el equador.

129 El Sol, cuyo movimiento propio aparente es en la ecliptica, pasará en la esfera recta por el zenit los dias 20 de Marzo y 23 de Septiembre, en que, llegando á los puntos equinocciales, corre el equador. Y, como el dia está determinado por el tiempo que el Sol permanece sobre el horizonte, se vé, que, para un habitante de la Tierra situado en el equador, todos los dias son de doce horas é iguales á las noches en todos tiempos del año.

130 Por razon del movimiento anual, en la esfera recta se tiene el Sol ácia la parte del norte y las sombras de los cuerpos caen al sur, desde el 20 de Marzo hasta el 23 de Setiembre, que es el tiempo que emplea en describir la parte septentrional

de la ecliptica: en los otros seis meses se vé el Sol al sur, y las sombras caen al norte: y en los dos dias en que corresponde á los puntos equinocciales, la sombra desaparece enteramente al instante del medio dia.

131 Supongamos que el observador se mueva desde el equador ácia uno de los polos, por exemplo, ácia el polo arctico. La línea de su zenit entonces se eleva sucesivamente del plano del equador, inclinándose ácia la parte boreal del exe; y, por consiguiente, el plano del equador parecerá inclinarse ácia la parte austral, el polo boreal elevarse mas y mas sobre el horizonte, y el polo austral descender del mismo modo. Así, quando el observador haya caminado, por exemplo, hasta 30° de distancia del equador ácia el polo arctico, de modo que la línea de su zenit sea TZ, y OR su horizonte, el plano del equador EQ estará 30° distante del zenit Z, y por consiguiente inclinado al horizonte OR de 60°, los ángulos ZTQ, OTP, P′TR, serán iguales, el polo P estará elevado de 30° sobre el horizonte, y el polo P′ de la misma cantidad debaxo.

132 Siguese, pues, que en qualquier punto de la Tierra donde se halle un observador, la distancia de su zenit al equador es igual á la altura del polo sobre su horizonte, y la distancia del polo al

al zenit igual á la altura del equador. Y como el arco SX ó la latitud geográfica del punto S mide al ángulo ZTQ, lo mismo que ZQ, resulta tambien: *que la latitud de un lugar es igual á la altura del polo sobre el horizonte.*

133 Un observador, cuya posicion en la superficie de la tierra no sea en el equador ni en los polos, tiene todos los planos de los paralelos celestes igualmente inclinados sobre su horizonte á la parte opuesta al polo elevado, y esta inclinacion, ó la del equador, es igual al complemento de la altura de aquel polo. Asi, todos los astros, que describen estos paralelos en el movimiento diurno, deben abanzarse elevándose sobre el horizonte en direccion obliqua, descendiendo despues tambien obliquamente, para desaparecer debaxo del horizonte. Y por esta razon, la posicion de la esfera, en tal caso, se llama obliqua.

134 Todos los astros, cuyos paralelos están á ménos distancia del polo elevado que este polo del horizonte, ó lo que es lo mismo, todos los astros, en los quales el complemento de la declinacion es menor que la altura del polo del mismo nombre, están perpetuamente sobre el horizonte, y no salen ni se ponen. Por exemplo: el astro que describe el paralelo MN no puede descender hasta ocul-

ocultarse debaxo del horizonte, porque en su revolucion al rededor del polo P, el punto mas baxo de su paralelo M no llega hasta el horizonte OR. Por el contrario, todos los astros que describen paralelos, como *mn*, cuyo complemento de declinacion es menor que la altura del polo y de otro nombre, nunca pueden aparecer sobre el horizonte; porque el punto mas próxîmo de su paralelo *n* no alcanza el plano de OR.

135 En la esfera oblíqua, todos los paralelos interceptados por el horizonte están divididos por este círculo en dos partes desiguales, á excepcion del equador, que es un círculo máxîmo de la esfera. Y el tiempo que cada astro puede verse sobre el horizonte, desde que sale hasta que se pone, resulta determinado por el número de grados de la porcion del paralelo superior á este plano. Este arco superior, que determina el tiempo de la apariencia de cada astro se llama *arco diurno*, y la porcion inferior, que determina el de su ausencia aparente debaxo del horizonte, *arco nocturno*. Los arcos diurnos aDb, dBc son de un número de grados tanto mas grande, quanto estos paralelos están situados mas próxîmos al polo elevado P: y al contrario, los arcos diurnos fHg, bLk constan de ménos grados, á proporcion que se hallan mas cerca del polo baxo.

De

De modo, que el arco diurno *u*Q*l* del equador es el único exâctamente igual á la mitad del círculo, porque aquel es el único círculo máxîmo.

136 El arco diurno *a*D*b* de un paralelo es igual al arco nocturno *k*K*b* del otro paralelo, que tiene la misma declinacion de nombre contrario: como se hecha de ver facilmente, por la semejanza de los dos hemisferios en que divide á la esfera el horizonte OR.

137 Resulta, pues, que en la esfera obliqua, todos los astros que se hallan en el equador están doce horas sobre el horizonte y doce horas debaxo, y que los demas astros permanecen sobre el horizonte, tanto mas de doce horas, quanto mayor es su declinacion de la denominacion del polo elevado, y ménos de doce horas, á proporcion que la declinacion de la denominacion del polo baxo aumenta: estando generalmente un astro, tanto mas de doce horas sobre el horizonte, quanto la apariencia sobre el mismo de otro de igual declinacion y denominacion contraria, es menor de doce horas.

138 Respecto á las máxîmas alturas á que los astros pueden elevarse, ó lo que es lo mismo, las menores distancias al zenit, es claro, que un habitante de la Tierra situado en el punto S, solo podrá ver en su zenit Z á los astros que tengan una decli-

nacion ZQ del mismo número de grados que su latitud geográfica, ó distancia SX del paralelo del observador al equador. Los astros, cuya declinacion de la misma denominacion del polo elevado P es mayor que la latitud SX, pasan tanto mas lejos del zenit Z ácia la parte de aquel polo, quanto los que tienen declinacion de la misma especie menor que la latitud, se alejan ácia la parte opuesta. Los astros que carecen de declinacion, ó se hallan en el equador, pasan á una distancia del zenit ZQ igual á la latitud SX. Los que están en el hemisferio celeste del polo baxo P′ pasan á mayor distancia, y el exceso es igual al número de grados de la declinacion: de modo que los astros, cuya declinacion QR es igual al complemento de la latitud SX, no podrán mas que tocar el horizonte y nunca se elevarán sobre su plano. De estas consideraciones resulta, que la mayor altura á que llega un astro en su revolucion diurna es facil de calcular por la latitud geográfica ó altura del polo del lugar, y la declinacion del astro.

139 Imaginando un círculo máximo PZQP′E conducido por los polos P, y P′ y por el zenit Z, se vé, que el plano de este círculo cortará perpendicularmente los planos del horizonte, equador, y paralelos, dividiéndolos á todos en dos partes iguales;

les ; de lo que se sigue , que el arco de este círculo comprehendido entre el zenit y cada paralelo mide la verdadera distancia entre ellos , esto es , entre el zenit y el punto mas próxîmo de cada paralelo , y este es el punto en que , por consiguiente , el astro que lo describe llega á su mayor altura sobre el horizonte. Asi , todas las máxîmas alturas de los astros deben medirse por el arco de aquel círculo comprehendido entre el horizonte y el astro , quando por su movimiento diurno llega al plano de este círculo, que se llama *meridiano*.

140 El meridiano es , pues , un círculo máxîmo de la esfera celeste , que , pasando por los polos del equador y el zenit de un lugar de la Tierra divide en dos partes iguales los arcos diurnos de todos los paralelos. Un astro , por razon del movimiento uniforme de la rotacion diurna , llega en el plano de este círculo al instante medio entre su salida y ocultacion , y en el mismo se verifica su mínima altura sobre el horizonte del lugar , que conseqüentemente se llama *altura meridiana*.

141 Como el sólido terráqüeo forma una esfera concentrica á la celeste , el plano de un meridiano celeste señala por su interseccion en la superficie de nuestro globo la circunferencia del meridiano terrestre correspondiente, cuyo plano es el mismo del primero.

142 Como el meridiano corta perpendicularmente en dos partes iguales á cada paralelo, pasando tanto por su punto mas alto como por el ménos elevado, es tambien claro, que las estrellas que son siempre visibles, por razon de su proxîmidad al polo elevado, llegan á su máxîma altura, como en N, quando pasan por el plano del meridiano entre el zenit Z y el polo elevado P, y á su minima altura, quando doce horas despues se hallan segunda vez en el mismo plano M entre el polo y el horizonte.

143 En quanto á los astros que, como los planetas, tienen movimiento propio, es evidente, que sus fenómenos deben ser conformes á los de los diferentes paralelos en que se encuentran, segun los puntos de su orbita particular á que correspondan. Asi, atendiendo á lo dicho en el párrafo 137, se vé que, en los países situados en el hemisferio del norte de la Tierra, suceden los mayores dias quando el Sol se halla en los seis primeros signos ó signos septentrionales de la ecliptica: y que, al contrario, en los países del hemisferio del sur, los mayores dias se verifican, quando el Sol corresponde á los seis últimos signos ó signos meridionales. El mayor dia, por consiguiente, para todos los lugares de la Europa es el 21 de Junio, en que el Sol, hallándose en el punto solsticial de verano, descri-

be

be su paralelo mas boreal ó tropico de Cancer, y la noche mas larga es la del 21 de Diciembre, en que el Sol llega al punto solsticial de invierno y corre el tropico de Capricornio. Los países situados al sur del equador experimentan sus mayores dias y noches en orden inverso, como manifiesta la sola inspeccion de la fig. 24. Y generalmente, en la esfera obliqua, tanto en el hemisferio del norte como en el del sur, se tiene el dia igual á la noche en los tiempos de los equinoccios.

144 En la esfera obliqua son iguales los dos dias, en que el Sol, teniendo la misma declinacion, se halla á igual distancia del solsticio; pero en los casos en que las dos declinaciones son de igual número de grados y denominacion contraria (137), la duracion del dia en que describe el paralelo boreal es igual á la de la noche en que describe el paralelo austral, y por consiguiente este último dia es igual á la primera noche.

145 De lo dicho en los párrafos antecedentes resulta, que todos los países situados en el mismo paralelo tienen siempre igual duracion de dia, y por consiguiente la misma estacion, sin que esta uniformidad pueda influir en la distancia á que están unos de otros. Asi, los periécos se hallan siempre y en los mismos tiempos, en las mismas estaciones

nes, aunque el instante del medio dia para uno sea el de media noche para el otro. Por el contrario, dos lugares, cuyas latitudes una norte y otra sur sean iguales, experimentan sus estaciones siempre en orden opuesto: de modo, que el verano del primero es el invierno del segundo, y la primavera de aquel el otoño de este. Los antipodas y antécos se hallan en tal caso; pero entre unos y otros hay diferencias que los distinguen, por el orden de contar los dias. Como los antipodas tienen su horizonte comun en el mismo plano, todos los astros salen para el uno quando se ponen para el otro; y por consiguiente, la media noche de uno concurre con el medio dia del otro. Pero los antécos, aunque en estaciones diferentes, cuentan siempre el medio dia, la media noche y todas las horas en los mismos instantes.

146 Supongamos ahora, que el observador, que, partiendo del equador caminó por el hemisferio boreal, se halla ya en el polo terrestre de este nombre. Es evidente, que en este caso la línea de su zenit estará confundida con el exe del equador, *Fig.* 24. su zenit corresponderá al polo arctico celeste P, el mismo equador le servirá de horizonte, y todos los paralelos lo serán por consiguiente al plano de este último círculo. Por esto se dice entonces que la esfera es paralela.

En

En esta posicion se vé, que todos los astros comprehendidos entre el equador EQ y el polo superior deben executar la revolucion diurna al rededor de la línea del zenit TP, moviéndose paralelamente al horizonte: que los astros en el equador EQ deberán siempre tocar el horizonte; y que todos los correspondientes al hemisferio austral serán perpetuamente invisibles, por razon de la opacidad de la Tierra. De lo que se sigue, que desde un polo de la Tierra nunca podrá descubrirse mas que la mitad de la esfera estrellada, y que en virtud del movimiento diurno ningun astro sale ni se pone, y que al contrario todos se mueven conservando respecto al horizonte una misma distancia, igual á su declinacion.

147 En quanto á los fenómenos con que deben presentarse en la esfera paralela los astros que tienen movimiento propio, es evidente, que, estando su orbita cortada por el plano del equador en dos partes una boreal y otra austral, ninguno de estos astros podrá verse sobre el horizonte mientras describe la parte de su orbita correspondiente al polo baxo, y que al contrario estará constantemente visible todo el tiempo que emplee en describir la superior. Asi, durante el interválo que gasta en correr los seis signos septentrionales, el Sol estará sin in-

intermision patente al observador situado en el polo del norte de la Tierra ; porque todos los paralelos que describe, desde el equador al tropico de Cancer, son superiores al horizonte ; de lo que resulta, que el año se compone de un dia y una noche iguales, y de seis meses á corta diferencia. Para la esfera paralela, cuyo polo elevado es el del norte, el dia dura, desde que el Sol se halla en el punto equinoccial de primavera, hasta que, pasando por el solsticio de verano para la misma, llega al punto equinoccial de otoño : y la noche todo el tiempo que emplea en correr los signos meridionales. Los seis meses de invierno son de una continua sombra, y en los del verano, un habitante del polo vería dar á las de todos los cuerpos un giro diario á su alrededor, con velocidad uniforme y sin variar sensiblemente de tamaño.

148 Desde el equador, en que todos los dias son siempre iguales entre sí y á las noches, hasta el polo en que el dia es de la mitad del año, se encuentran todos los grados intermedios, por los quales el máximo dia vá sucesivamente creciendo de doce horas á seis meses. Estas diferencias proporcionan un medio de dividir la Tierra en zonas ó faxas paralelas al equador, que se llaman *climas*. Un clima en este sentido es, pues, una porcion de la su-

superficie de la Tierra determinada por dos paralelos de tal ancho, que el mayor dia en el paralelo mas cercano al polo excede de una cierta cantidad al mayor dia del otro: y se distinguen climas de horas y de meses. Los climas de horas principian en el equador, donde el dia es constantemente de doce horas, y terminan en el círculo polar, en que se cuenta el máximo dia de veinte y quatro horas: y los climas de meses principian en el círculo polar y acaban en el polo, en que se tiene el dia de seis meses. Los límites de unos y otros son fáciles de hallar, y se encuentran ya calculados en los libros de Astronomía.

DE LAS ESTACIONES.

149 Los quatro puntos de los equinoccios y solsticios dividen el año en quatro *estaciones*, que se distinguen por los diferentes grados de calor que se experimenta en ellas. Los rayos del Sol, que producen el calor, nunca tienen tanta fuerza, como quando llegan en direccion perpendicular á la superficie que habitamos; porque, atravesando entonces la masa del aire por la direccion mas corta, la conservan mayor para penetrar y esparcirse en los intersticios de la Tierra y poros de los cuerpos inmediatos, fomen-

tando el calor en tal caso con todo el vigor posible: á lo que se añade, que el número de los rayos que caen sobre una superficie crece, á proporcion de lo que se acercan á la perpendicularidad sobre ella. La obliqüidad, ó ángulo en que llegan los rayos del Sol á la superficie de la Tierra, es evidentemente tanto mas grande, quanto el parage se halla mas cercano á alguno de los polos. Pero como, aun á pesar de la conformidad ya explicada entre los movimientos aparentes del Sol y reales de la Tierra, podrían ofrecerse algunas dudas sobre el verdadero modo de considerar las vicisitudes de las estaciones, ántes de pasar adelante, convendrá seguir á nuestro globo en su verdadero curso, presentando al Sol uno de sus polos alternativamente.

Fig. 25. 150 El exe de la Tierra continúa siempre paralelo á sí mismo; y así, suponiéndola en T, de modo que el Sol parezca á su mayor distancia del equador EQ, los rayos de luz caerán entonces á plomo en el punto C de un tropico, que sea el de Cancer. Pero quando, despues de haber dado media vuelta en su orbita, se halla en T′ con el exe P′*p*′ mirando al mismo punto del Cielo ó en posicion paralela á la primera, el Sol parecerá tan inferior al equador, como superior habia parecido ántes, y sus rayos herirán directamente el punto *ó* del

del tropico de Capricornio. Este es, pues, propiamente el invierno del hemisferio P y el verano del opuesto: y atendiendo á los grados, por los quales el Sol fué apartándose del primer término, y á la rotacion diurna, que le expone sucesivamente todos los puntos del mismo paralelo, se hecha de ver, como en aquel intervalo tienen al Sol en su zenit los diversos lugares de la zona torrida.

151 Esta es una de las explicaciones mas ingeniosas en el sistéma de Copernico, aunque sea absurda la complicacion de un tercer movimiento con que aquel filósofo quiso dar razon del paralelismo del exe de la Tierra. Este fenómeno es natural y resulta de la misma causa del movimiento diurno, en nada alterado por el anual, como se hará evidente, considerando las leyes de la Mecánica descubiertas despues del tiempo de Copernico. Pero, sin entrar en una explicacion particular de este asunto, que nos llevaría demasiado lejos, volvamos á las circunstancias de las estaciones.

152 El dia del equinoccio, en que el Sol corre el equador, la altura del Sol sobre el horizonte es igual al complemento de la latitud geográfica. Asi, mientras mayor sea la latitud de un pais, mas se disminuye la altura del Sol el dia del equinoccio, mas dista la direccion de sus rayos de la línea del

zenit ó perpendicularidad al plano tangente en aquel punto á la superficie de la Tierra, y ménos es, por consiguiente, el calor que se experimenta. De esta causa del calor procede, que, hallándose el Sol en el punto solsticial ó tropico opuesto al polo elevado, la altura á que llega sobre todos los horizontes de la esfera obliqua es la menor posible; por cuya razon, el calor en aquel tiempo debe ser el menor de todo el año, y esta máxima disminucion de calor ó frio que se siente, es lo que constituye entonces el invierno. Por el contrario, hallándose el Sol en el punto solsticial ó tropico correspondiente al polo elevado, llega á su máxima altura sobre el horizonte y produce el mayor calor de todo el año, y es lo que hace entonces el verano. Quando el Sol se encuentra en los puntos equinocciales, la altura á que se eleva sobre el horizonte es un medio entre las del verano y del invierno; así el calor entonces es tambien un medio término de las dos estaciones de otoño y primavera.

153 Las desigualdades de las estaciones dependen, no solamente de la obliquidad con que los rayos del Sol llegan á los diversos parages de la superficie de la Tierra, sino del tiempo que permanece sobre el horizonte en la revolucion diurna. En el verano una y otra causa contribuyen al aumento del ca-

calor; porque, al paso que el Sol corre paralelos mas próxîmos al polo elevado, la direccion de sus rayos se acercan mas á la perpendicular, y los arcos diurnos son mayores. Y mientras los lugares se hallen mas distantes del equador se vé, atendiendo á la misma razon, que debe crecer la desigualdad de las estaciones; porque las diferencias entre los arcos diurnos y nocturnos, que miden las duraciones de los dias en iguales declinaciones contrarias, son precisamente mas considerables.

154 Ademas de las mencionadas, hay otras muchas causas que contribuyen á alterar el grado de calor ó frio: entre las quales son de las mas eficaces la naturaleza del terreno, la altura del nivel sobre el del mar del pais en que se habita, y su posicion respecto al viento general de oriente. Por exemplo: en las costas de Africa se siente un calor inmenso, tanto porque las arenas de que el continente está compuesto embeben y refletan los rayos mas facilmente que ninguna otra especie de terreno, como porque su nivel está apenas elevado sobre el de las aguas, y que el viento general, ó no les llega, ó llega despues de haberse calentado barriendo todo el continente.

155 Al contrario, toda la America es generalmente mas fria que los demas paises de la Tierra si-

situados en iguales latitudes; porque el viento general solo la encuentra despues de enfriado en el occeano Atlantico, y que, quando ya principia á adquirir un grado de calor mas vivo, se halla de repente detenido y refrescado por las enormes cordilleras de los Andes, que forman la mas alta y húmeda parte del mundo. Asi, mientras los habitantes del Senegál se abrasan en un calor intolerable, los del Perú gozan de una apacible y perpetua primavera, y el color de los naturales que alli es atezado, aqui es solo un moreno muy subido.

156 La mayor ó menor distancia del Sol á la Tierra durante su curso anual es de un influxo mucho menor que el de las causas apuntadas, sobre el grado de calor ó frio que se experimenta. Y en efecto, el Sol está mucho mas cerca de la Tierra en el mes de Diciembre que en el mes de Junio, sin que esta diferencia nos impida padecer los mayores rigores del invierno justamente quando el Sol se halla ménos distante de nosotros.

157 Debe notarse, que el mayor calor no corresponde exâctamente al dia en que el Sol llega al solsticio de verano, y que al contrario no se siente hasta algunos dias despues, en que ya disminuyendo su declinacion se ha aproxîmado al equador. La razon de este fenómeno consiste en que el cuerpo

po de la Tierra, que absuerve los rayos de la luz, continúa recibiendo mas calor del que pierde por algun tiempo despues del solsticio de verano; y por consiguiente, el calor que se siente vá siempre aumentando, hasta que la cantidad de particulas evaporadas es igual á las que se introducen: pasado cuyo término, el calor debe ir á ménos, como la experiencia lo acredita.

METODO DE REFERIR LOS FENÓMENOS procedentes del movimiento diurno de los astros, á los círculos de la esfera determinados por la posicion de un lugar particular en la superficie terrestre.

158 Por lo dicho, desde el párrafo 127 en adelante, es evidente, que todos los fenómenos particulares del movimiento diurno dependen de la posicion del observador respecto al equador terrestre y de la declinacion de los astros; y que asi, para establecer la teórica de estos fenómenos, debe principiarse por la averiguacion de ambos elementos.

159 Para determinar la latitud geográfica, ó lo que es lo mismo (132), la altura del polo elevado, se hace uso de las observaciones de las alturas meridianas de una estrella de las (134) que están per-

perpetuamente sobre el horizonte; por cuyo medio se tiene facilmente el arco OP, que es la latitud ó altura del polo que se busca.

Fig. 24.

160 Pero como aquel método no es practicable en las proxîmidades del equador, entonces se recurre á determinar la altura de polo por las observaciones de las alturas meridianas del Sol, quando se halla en uno y otro tropico. Hayase observado, por exemplo, en un lugar cuyo zenit es Z', las alturas del Sol en los momentos de corresponder á los puntos B, y H de los tropicos AB, y GH. Las alturas serán entonces iguales á $90°—BZ'$, y $90°—Z'H$; y $90°—BZ'—(90°—Z'H)=Z'H—BZ' =QZ'+QB—BZ'=2QZ'$. De lo que se sigue, que la semidiferencia QZ' de las alturas es entonces igual á la latitud ó altura de polo, y que esta será septentrional ó meridional, segun la mayor altura sea la observada en el tropico de Cancer ó en el de Capricornio.

161 Por la altura de polo PO ya determinada, se deduce la altura del equador RQ, que es su complemento, y con este dato es facil hallar la declinacion de qualquier astro; pues, observando su altura meridiana, y comparándola á la del equador sobre el horizonte del lugar, se tiene el arco de meridiano comprehendido entre el equador celeste y el pa-

paralelo del astró que mide la declinacion. Habiendo observado, por exemplo, la altura meridiana LR de un astro que describe el paralelo LK, y restándola de RQ resultará conocida su declinacion LQ de la denominacion del polo baxo P'. De donde podrémos deducir como principio general, que: *Dadas dos de estas tres cosas, la altura del polo, la declinacion de un astro, y su altura meridiana, podrá averiguarse facilmente la tercera.*

162 Para calcular las demas circunstancias del movimiento diurno, supongamos que HPOQH representa el meridiano de un lugar, HO la mitad del horizonte, EQ la mitad del equador; y con esto, el arco PO será igual á la altura de polo del lugar, y su complemento ZP=HE igual á la altura del equador. Sea M el punto donde se halla un astro fuera del meridiano, y concibiendo por el polo P y el astro M un arco de círculo máximo PMB, ó PBM, que será precisamente perpendicular al equador, la porcion MB de este arco comprehendida entre el astro y el equador representará la declinacion del astro, y MP su distancia al polo elevado. Haciendo pasar tambien por el zenit y el mismo astro un arco de círculo máximo ZMA, que será perpendicular al horizonte HO, se vé, que la porcion MA manifestará la altura del astro sobre el hori- *Fig. 26. y 27.*

zonte, y su complemento MZ su distancia al zenit. Ultimamente, si por el astro M se tira un círculo menor LD paralelo al equador para representar el paralelo del astro, el arco ML comprehendido entre el meridiano y el astro medirá su distancia al meridiano, y el arco LF comprehendido entre el meridiano y el horizonte será el arco semidiurno del mismo astro; y asi L representará el punto del meridiano por donde el astro debe pasar, y el punto F el del horizonte por donde debe salir ó ponerse.

163 Los círculos descriptos arriba son de un uso muy freqüente en la Astronomía, y por esta razon se les han dado nombres particulares para distinguirlos.

164 Un arco de 90° ó quarto de círculo máximo como ZA, ZC, ZF, tirado desde el zenit á qualquier punto del horizonte, se llama *vertical*, porque su plano es perpendicular al horizonte: y el vertical, como ZC, que, pasando por la interseccion del horizonte y equador, forma ángulos rectos con el meridiano en Z, se llama *vertical primario*.

165 Como los verticales son los círculos en que se miden las alturas de los astros, se imaginan tambien otros círculos menores como GMN paralelos

los al horizonte, esto es, otros círculos en los quales todos sus respectivos puntos se hallan á la misma altura. Si el astro M tiene, por exemplo, 35° de altura, todos los puntos que, dando la vuelta al Cielo, se hallan á igual elevacion forman este círculo menor que, por consiguiente, se llama *paralelo de altura*, ó *almicantarát*.

166 El arco del horizonte HA comprehendido entre el meridiano y un vertical qualquiera ZA, ó el ángulo en el zenit HZA de que es medida, formado por el meridiano y un vertical qualquiera, ZA se llama el *azimut* de este vertical, ó de qualquier astro, que, como M, se halle en alguno de sus puntos. El azimut se cuenta desde el arco ZH, ó punto del horizonte H opuesto al polo elevado P, pero tambien suele tomarse en su lugar el ángulo AZO ó arco AO que es su complemento.

167 El arco de horizonte CF, ó ángulo FZC, comprehendido entre el vertical primario ZC y el ZF correspondiente al punto F donde el paralelo LMD de un astro corta el horizonte HO, se llama la *amplitud* del astro: y se distingue en amplitud *ortiva* ú *ocasa*, segun el punto F es el de la salida ú ocultacion del astro.

168 Por las definiciones antecedentes es claro.

1° Que un astro en su revolucion diurna muda á cada instante de azimut y de vertical.

2° Que un astro, cuya declinacion es de denominacion contraria á la del polo elevado, nunca pasa por el vertical primario, ni llega á tener, por consiguiente, un azimut igual ó mayor que 90°.

3° Que, como las estrellas fixas describen siempre sensiblemente el mismo paralelo, nunca varían de amplitud; y asi, salen y se ponen perpetuamente en los mismos puntos del horizonte. Y que, al contrario, los astros que tienen movimiento de revolucion periódica mudan de amplitud, segun la declinacion del paralelo en que se hallan.

4° Que los astros que están en el equador carecen de amplitud, y por consiguiente salen y se ponen en los dos puntos del horizonte distantes del meridiano de 90°.

Por esta razon se llama *verdadero punto del éste* ó de *levante*, el punto del horizonte distante de 90° del meridiano ácia la parte oriental por donde principian á aparecer los astros; y *verdadero punto del oéste* ó de *poniente*, el otro distante de 90° del meridiano ácia el occidente donde se ponen los astros.

5° Que dos astros situados en el mismo paralelo llegan con igual amplitud al horizonte; pero que quando los dos se hallan elevados al mismo tiempo y ácia la misma parte del meridiano, no pueden te-

tener el mismo azimut ni la misma altura.

6° Que al hallarse dos astros en el mismo vertical tienen el mismo azimut; pero, siendo sus declinaciones y alturas diferentes, no pueden, por consequencia, llegar con la misma amplitud al horizonte.

169 Para calcular ahora las diversas circunstancias de las posiciones de los astros respecto á los círculos descriptos, es claro, que en el triángulo MZP, dadas tres de estas seis cosas, ZP complemento de la altura de polo, el ángulo ZPM ó arco LM que mide la distancia del astro al meridiano, el lado PM complemento de la declinacion del astro, el lado ZM complemento de su altura, el ángulo PZM suplemento de su azimut, y el ángulo ZMP formado en el astro por el vertical MZ y el círculo de declinacion MP (que se llama el *ángulo paralatico* del astro), es facil hallar por la Trigonometría esférica las tres restantes. *Fig. 26. y 27.*

170 Debe notarse, que, por razon de la uniformidad del movimiento diurno en virtud del qual los astros describen sus respectivos paralelos, las horas ó el tiempo que tarda el astro M en correr el arco LM, ó pasar desde su posicion en M al meridiano en L, es al todo del que emplea en una revolucion diurna ó en describir el paralelo entero: como el número de grados de que consta el arco

LM

LM, á los 360° de la circunferencia. Así, el arco LM puede darse indiferentemente en grados ó en tiempo, y el ángulo ZPM expresa de todos modos las horas, minutos &c. que faltan al astro para llegar al meridiano ó que han pasado desde que estuvo en él; por cuya razon se llama este ángulo *el horario* del astro. El dia astronómico que se cuenta desde un medio dia á otro, esto es, cuya duracion es igual al tiempo que el Sol gasta desde el instante que estuvo en L hasta volver á corta diferencia al mismo punto del meridiano, despues de haber descripto todo el paralelo LD, se divide en veinte y quatro horas solares que corresponden cada una á $\frac{1}{24}$ parte del paralelo LD; y, por consiguiente, el ángulo horario ZPB del Sol será de 15° al instante de la una, de 30° al de las dos &c. De donde se sacan dos reglas generales, para convertir los grados de los arcos del equador ó sus paralelos que miden los horarios en tiempo, y recíprocamente.

1° *Para convertir en tiempo un número dado de grados, minutos y segundos: quadruplese este número, y despues cuentense los grados por minutos de tiempo, los minutos de grados por segundos de tiempo, los segundos por terceros &c.*

Por exemplo 258° 43′ 25″ equivalen á 17^h 14′ 53″ 40‴.

Pa-

2° *Para convertir en grados un arco dado en tiempo: reduzcanse las horas á minutos, y sumense con los de la cantidad dada, divídase todo por quatro, y tomense en el quociente, los minutos de tiempo por grados, los segundos de tiempo por minutos de grado, los terceros por segundos &c.*

Por exemplo $10^h\ 25'\ 18''\ 35'''$ hacen $156°\ 19'\ 38''\ 45'''$.

Puede hacerse esta operacion, sin reducir las horas á minutos, tomando $15°$ por cada hora, y siguiendo en lo demas la regla dada.

171 Sentados estos principios, supongamos, por exemplo, que *dadas la declinacion y altura del astro sobre el horizonte, y la altura de polo, se tienen conocidos en el triángulo* ZPM *los tres lados, por los quales quiere calcularse el ángulo horario* ZPM.

Para esto, la fórmula seno $\frac{1}{2}$ ZPM $=$

$$\frac{sen\left(\frac{ZM+ZP-PM}{2}\right)\times sen\left(\frac{ZM-ZP+PM}{2}\right)}{sen\,ZP\times sen\,PM}$$ dá las

siguientes reglas:

Sumense los tres lados ZP, PM, y MZ, y tómese la mitad de la suma: de esta semisuma restense sucesiva y separadamente los dos lados ZP y PM que forman el ángulo que se busca P, de lo que resultarán dos diferencias. Sumense los logarith-

mos

mos de los senos de estas diferencias, y los complementos aritméticos de los logarithmos de los senos de los dos lados PZ, y PM: tómese la mitad de la suma; y esta será el logarithmo del seno de un número de grados y minutos igual á la mitad del ángulo horario ZPM.

172 Este ángulo, si es el horario del Sol, convertido en tiempo á razon de 15° por hora, dará el tiempo que en el instante de la altura le faltaba al Sol para llegar al meridiano, ó el gastado desde su pasage, si es por la tarde.

173 *Si dados el azimut de un astro, su declinacion y la latitud del lugar, quiere hallarse el ángulo horario* ZPM.

En el triángulo ZPM resultan conocidos los lados ZP, PM, y ángulo MZP. Sea el triángulo ZPM de la fig. 28 de las mismas dimensiones, y tirando la perpendicular PE á ZM, hagase:

1° El radio, es á coseno ZP ó al seno de la latitud del lugar: como tangente MZP ó la tangente del azimut, á la cotangente del ángulo ZPE.

2° Tangente PM ó la cotangente de la declinacion, á tangente ZP ó á la cotangente de la latitud del lugar: como coseno ZPE, á coseno EPM.

Sumense los dos ángulos ZPE, y EPM, quando la declinacion del astro es de la denominacion del

del polo elevado, ó restense si es de denominacion contraria: y el resultado dará el valor del ángulo horario ZPM.

174 Quando el azimut dado es de 90°, ó que, *conocida la latitud del lugar y la declinacion del astro, quiere hallarse, qual deberá ser su ángulo horario al instante de pasar por el vertical primario*, el cálculo es mas corto; porque entonces el triángulo PZM es rectángulo en Z, y se reduce á esta sola analogía:

Cotangente ZP ó la tangente de la latitud del lugar, á cotangente PM ó á la tangente de la declinacion: como el radio, al coseno del ángulo horario ZPM.

El ángulo horario en este caso será menor que 90°, si la declinacion del astro es de la denominacion del polo elevado.

175 Quando quiera calcularse *el azimut*, *dadas la altura del polo, la del astro y su declinacion*, no hay mas que observar las siguientes reglas.

Tómese la mitad de la suma (171) de los tres lados ZP, PM y MZ, y de esta semisuma restense separada y sucesivamente cada uno de los dos lados MZ, ZP que comprehenden el ángulo azimutal MZP que se busca, y con esto se tendrán dos restas. Hagase despues esta proporcion: el producto de los senos de los dos lados MZ y ZP, á 1: como el producto de los senos de las dos restas, al quadrado del seno de la mitad del ángulo buscado.

176 Puede ser necesario *hallar el azimut de un astro, dado el ángulo horario, su declinacion y la altura de polo ó latitud geográfica.*

Fig. 29. En este caso, se conocen en el triángulo ZPM, el ángulo ZPM horario del astro, el arco ZP complemento de la altura de polo, y el lado PM igual al complemento de la declinacion ó á la declinacion mas 90°. Para venir por estos datos en conocimiento del valor del ángulo azimutal MZP, tírese desde el punto M de la posicion del astro el arco MS perpendicular al meridiano y haganse las analogías siguientes.

1° El radio, á la tangente de la distancia polar PM: como el coseno del ángulo horario ZPM, á la tangente del primer segmento PS.

Tómese la diferencia entre la distancia PZ del polo al zenit y el primer segmento PS, si el ángulo horario ZPM es agudo, ó su suma, si es obtuso, y se tendrá el segundo segmento ZS: con cuyos datos se hará:

2° El seno del segundo segmento ZS, al seno del primer segmento PS: como la tangente del ángulo horario ZPM, á la tangente del azimut PZM.

El ángulo hallado no será de la especie del dado, do, si uno de los segmentos es mayor que el lado sobre el qual cae la perpendicular.

177 *Quando el ángulo horario es de 90°*, como sucede con el Sol en el instante en que se halla á seis horas de su pasage por el meridiano, el triángulo MZP es rectángulo en P, y el cálculo del azimut MZP se reduce á la proporcion siguiente.

Seno PZ ó el coseno de la latitud del lugar, al radio: como tangente PM ó la cotangente de la declinacion del astro, á la tangente del ángulo azimutal Z.

Si la declinacion del astro es del nombre del polo elevado, el ángulo azimutal es agudo, y si de denominacion contraria obtuso.

178 *Dadas, como ántes, la altura de polo ó latitud geográfica, que hace conocer el lado* ZP, *la declinacion de un astro que manifiesta el valor de* PM, *y el ángulo horario* ZPM, *puede calcularse la distancia* ZM *del astro al zenit, y por consiguiente su altura sobre el horizonte*: baxando el arco perpendicular ZK, y haciendo estas dos analogías:

1° El radio, al coseno del ángulo horario ZPM: como tangente PZ ó la cotangente de la latitud del lugar, á la tangente del primer segmento PK.

Tómese la diferencia entre este primer segmen-

 to

to y la distancia polar PM, si el ángulo horario es agudo, ó su suma, si es obtuso, y se tendrá el segundo segmento MK: con lo que digase:

2° El coseno del primer segmento PK, al coseno del segundo segmento MK: como coseno PZ ó el seno de la latitud, á coseno ZM ó al seno de la altura que se busca.

Por las reglas de la Trigonometría esférica es claro, que la altura calculada será negativa, ó que el astro estará debaxo del horizonte, si el segundo segmento MK es de mas de 90°.

179 *Quando el ángulo horario es de 90°*, el cálculo de la altura se reduce á una sola proporcion.

El radio, á coseno PM ó al seno de la declinacion del astro: como coseno ZP ó el seno de la latitud del lugar, á coseno ZM ó al seno de la altura del astro.

En este caso, la altura será negativa, si la declinacion es de la denominacion del polo baxo.

180 *Si la altura se busca por la declinacion la altura del polo y el azimut, se harán las operaciones siguientes.*

Fig. 28. En el triángulo MZP se conocen los lados PM, PZ, y el ángulo MZP, y se busca ZM.

1° El radio, á coseno MZP ó al coseno del azimut: como tangente ZP ó la cotangente de la la-

latitud geográfica, á la tangente del primer segmento.

2° Coseno ZP ó el seno de la altura del polo, á coseno PM ó al seno de la declinacion del astro: como el coseno del primer segmento ZE, al coseno del segundo segmento EM.

Tómese la suma ó diferencia de los dos segmentos, segun el arco perpendicular PE caiga en el arco ZM ó su prolongacion: y el resultado será la distancia ZM del astro al zenit, ó el complemento de su altura.

181 *Buscando en este problema la altura al momento de hallarse el astro en el vertical primario*, su resolucion se reduce á una sola analogía.

El triángulo MZP es rectángulo, y tiene conocidos los lados PZ, y PM.

Coseno ZP ó el seno de la latitud geográfica á coseno MP ó el seno de la declinacion del astro: como el radio, á coseno ZM ó al seno de la altura del astro.

La distancia al zenit ZM será mayor que 90°, esto es, la altura será negativa ó el astro pasará debaxo del horizonte por el vertical primario, siempre que la declinacion sea de denominacion opuesta á la del polo elevado, y al contrario quando la declinacion sea del mismo nombre.

Del

Fig. 26. y 27. 182 Del mismo modo, en el triángulo ZPF, en el qual ZF es siempre de 90°, dadas dos de estas quatro cosas, el lado ZP complemento de la altura del polo, el lado PF complemento de la declinacion de un astro situado en el paralelo LFD, el ángulo ZPF igual al arco semidiurno, y el ángulo PZF complemento de la amplitud ó suma de la amplitud y 90°, se calcularán las otras facilmente. Pero estas qüestiones se resuelven ordinariamente por medio del triángulo FCR. En este triángulo, rectángulo en R, porque el arco PF conducido por el polo P es perpendicular al equador EQ, el ángulo FCR del horizonte con el equador, medido por la altura de este EH, es igual al complemento de la altura del polo, el lado FR es la declinacion del astro ó paralelo que corre, el lado CR, (que se llama *diferencia ascensional*) complemento del arco del equador RE igual al arco semidiurno, y la amplitud está medida por el arco FC. Asi, dadas dos de estas quatro cosas, se hallarán las otras facilmente por el cálculo trigonométrico.

183 *Hayase de calcular, por exemplo, la amplitud de un astro, teniendo conocidas la declinacion y la latitud del lugar*: en cuyo caso se ha de hallar FC por medio del lado FR y del ángulo FCR. Para esto hagase:

Se-

Seno FCR ó el coseno de la latitud del lugar, á seno FR ó al seno de la declinacion, como el radio, el seno de la amplitud.

La amplitud ortiva ú ocasa se halla del mismo modo, y en los astros que no mudan de declinacion durante el interválo de una ravolucion diurna solo varía por tomarse á la parte oriental ú occidental del horizonte.

184 *Si, con los mismos datos, quiere calcularse el valor del arco semidiurno del astro* LF, se executará, usando la diferencia ascensional, por la proporcion siguiente:

El radio, á la tangente de la declinacion: como cotangente FCR ó la tangente de la altura del polo, á seno CR ó al seno de la diferencia ascensional.

Esta diferencia ascensional, añadida á los 90° que corresponden al quadrante EC del equador, si la declinacion del astro es de la denominacion del polo elevado, ó restada, si la declinacion corresponde al polo opuesto, dará el arco semidiurno LF ó ER que se busca.

185 Buscado de este modo el arco semidiurno del Sol, se tendrá, convirtiéndolo en tiempo, el que el Sol gasta en pasar del horizonte al meridiano; y, restando el mismo interválo de doce horas, la hora civil que se cuenta al instante de salir

el

el Sol. La duracion del dia se encuentra tambien por la misma operacion ; pues, variando poco la declinacion del Sol mientras este astro permanece sobre el horizonte , los dos arcos semidiurnos pueden tomarse como iguales, y el duplo del calculado manifestará lo que su presencia dura.

186 Aquella operacion solo dá el tiempo que recibimos directamente los rayos del Sol, cuya ocultacion en el horizonte, como todo el mundo sabe, no divide inmediatamente la luz de las tinieblas. El momento en que principia la noche obscura es el en que el Sol ha descendido á unos 18° debaxo del horizonte : del mismo modo que, quando el Sol llega por la parte oriental á los mismos 18°, principian á desvanecerse las tinieblas. Este tiempo, que tarda en perfeccionarse la claridad, ó en desaparecer por grados sucesivos, es lo que se llama *crepusculo* ó *aurora* : y su duracion es facil de hallar, su-
Fig. 25. poniendo el lado ZF del triángulo ZPF de 108°, y resolviendo el triángulo ZPF para calcular el horario ZPF, que convertido en tiempo dará en su exceso al arco semidiurno, ya calculado y tambien convertido en tiempo, el interválo que se busca.

ME-

METODO DE CALCULAR LAS POSICIONES de los astros respecto á los círculos fixos de la esfera.

187 Manteniéndose constantemente en la misma situacion para todos los lugares de la Tierra el equador, la ecliptica y los coluros, es facil percibir la utilidad que ofrecen estos círculos como otros tantos términos fixos en el Cielo, capaces de servir para la comparacion de las posiciones y movimientos de los astros. Asi, la Astronomía las aplica á este uso, prefiriendo generalmente entre los diversos modos de practicarlas los dos en que independentemente se hacen las referencias al equador y ecliptica, segun vamos á explicar.

188 Sea ECD la mitad del equador, P y P′ sus polos, LCT la mitad de la ecliptica, p y p' sus polos, PEp'P′Dp el coluro de los solsticios, PCP′ la mitad del coluro de los equinoccios, y pCp' un semicírculo perpendicular á la ecliptica: y supongase que la interseccion C del equador y ecliptica es el punto equinoccial de Aries, L el punto solsticial de Cancer, y T el punto solsticial de Capricornio. Si, por el punto A de la posicion de un astro, se conduce el círculo menor BAF paralelo á la Fig. 30.

ecliptica, y por los polos p y p' un semicírculo pAp' perpendicular al mismo círculo, la situacion del punto A quedará determinada respecto á la ecliptica por el valor del arco AG que mide su distancia, y respecto al semicírculo pCp' por el valor del arco AH del paralelo á la ecliptica, ó del arco GC de la ecliptica que consta del mismo número de grados.

189 El arco AG de círculo máxîmo perpendicular á la ecliptica, que mide la distancia de un astro A á la ecliptica LT, se llama la *latitud* del astro: y la latitud es boreal ó austral, segun el astro se halla ácia la parte del polo boreal de la ecliptica ó ácia el opuesto.

190 El arco GC que determina el punto de la ecliptica á que corresponde el astro, midiendo el arco de ella comprehendido entre el punto equinoccial de Aries y la interseccion G del arco de círculo máxîmo AG tirado por el astro perpendicularmente á la ecliptica, se llama la *longitud* del astro. La longitud se cuenta desde *o* signo hasta doce signos, de occidente á oriente ó segun el orden de los signos.

191 Del mismo modo: si por el punto A se conduce el paralelo al equador MAN, la situacion del punto A quedará determinada respecto al equador por el número de grados del arco AK que mide su

su distancia al equador, y respecto al coluro PCP′ por el valor de arco de paralelo AO, ó del arco de equador KC que consta del mismo número de grados.

192 El arco AK hemos ya dicho (114) que se llama *declinacion* del astro, y como se distingue en boreal y austral.

193 El arco KC, comprehendido entre el primer punto de Aries y la interseccion del arco de círculo máximo tirado desde el astro perpendicular al equador, se llama la *ascension recta* del astro: y se cuenta desde 0° hasta 360°, de occidente á oriente, ó segun el orden de los signos.

194 El semicírculo pAp', conducido por el astro y terminado en los polos de la ecliptica p y p', se llama *círculo de latitud* de este astro; porque, como hemos visto, mide las latitudes de los astros que se hallan en él. De lo que se sigue, que todos los astros que están en un mismo semicírculo de latitud tienen la misma longitud.

195 El semicírculo PAP′, tirado por qualquier astro y los dos polos del mundo P y P′, se llama *círculo de declinacion* del astro; porque sus arcos, comprehendidos entre el equador y todos sus puntos, miden las declinaciones de los astros que están en ellos. El círculo de declinacion se llama tambien *círculo horario* del astro; porque, segun hemos

visto (170), determina con el meridiano el ángulo horario del astro. Y es facil ver, que todos los astros colocados en un mismo semicírculo de estos tienen la misma ascension recta y forman los mismos ángulos horarios.

196 Como el arco KC es la medida del ángulo APC, formado por el círculo horario PAP′ del astro y la mitad PCP′ del coluro de los solsticios, la ascension recta de un astro está representada por este ángulo. Del mismo modo, la longitud GC de un astro es igual al ángulo ApC, formado en el polo de la ecliptica por el círculo de latitud del astro pAp' y el semicírculo de latitud pCp' conducido por el primer punto de ♈ y comprehendido entre los dos polos de la ecliptica.

197 De lo dicho resulta, que, conocidos en el triángulo PpA, el lado Pp, que, midiendo la distancia de los polos del equador y de la ecliptica, es igual á la obliqüidad de esta, la ascension recta del astro que dá el ángulo APp, y su declinacion cuyo complemento es igual al lado AP, pueden calcularse el lado Ap y ángulo ApP, y por ellos inferir inmediatamente la latitud y longitud del astro. Dados tambien en el mismo triángulo, el lado Pp, la longitud del astro que hace conocer el ángulo ApP, y su latitud que dá el lado pA, pueden

den determinarse los valores de PA y AP*p*, y por ellos la declinacion, y ascension recta del astro. Y en general podrá resolverse este problema: *Dadas tres de estas cinco cosas, la obliqüidad de la ecliptica, la ascension recta de un astro, su declinacion, su longitud, y su latitud, calcular las dos que faltan.*

198 Por exemplo: *quando quiera hallarse la latitud y longitud de un astro por su posicion referida al equador*, que es como se determina por las observaciones: tírese el arco AC, y con esto se tendrán dos triángulos AKC, AGC que darán, por medio de la declinacion del astro AK su ascension recta CK y el ángulo KCG de la obliqüidad de la ecliptica, los lados AG y GC. *Fig. 30. y 31.*

Debe tenerse presente en el uso de estos triángulos, que, para su resolucion por el cálculo de los senos, en vez de la ascension recta KC, ha de tomarse siempre el arco comprehendido entre el punto K del equador á que corresponde el astro y el punto equinoccial mas próxîmo: esto es, que, si la ascension recta excede 90° se empleará su suplemento, si es mayor que dos rectos se disminuirá de 180°, y si excede 270° se tomará lo que le falta á 360°. Hecha esta consideracion, se dirá:

1.° El radio, al seno de la ascension recta del astro KC: como la cotangente de la declinacion del as-

astro AK, á la cotangente del ángulo ACK.

La suma de este ángulo (fig. 31) y el de la obliqüidad de la ecliptica GCK dará el ángulo ACG, si el punto A de la posicion del astro y el punto G de la cliptica á que corresponde están en hemisferios de diferente nombre: como sucede quando el astro se halla en los seis primeros signos ó signos septentrionales con declinacion austral, y en los seis signos últimos ó signos meridionales con declinacion boreal. Pero, si los dos puntos A, y G corresponden al mismo polo (fig. 30), como quando estando el astro en los signos septentrionales su declinacion es tambien septentrional, ó quando estando en los últimos seis signos su declinacion es meridional, la diferencia del ángulo ACK y el de la obliqüidad de la ecliptica dará el ángulo ACG. Prosigase ahora:

2° El radio, al coseno de la ascension recta KC: como el coseno de la declinacion AK, al coseno de la hipotenusa AC.

3° El radio, al coseno del ángulo ACG: como la tangente de la hipotenusa AC, á la tangente del arco CG.

El quarto término de esta proporcion solo dá la distancia del punto de la ecliptica á que corresponde el astro al punto equinoccial mas próximo.

Pe-

Pero, conocida ésta, se determinará por ella el valor de la longitud verdadera contada de occidente á oriente desde el primer punto de ♈, haciendo las operaciones contrarias á las indicadas arriba, para deducir el lado CK por la ascension recta.

Quando, añadido el ángulo ACK al de la obliqüidad KCG, la suma excede 90°, estas reglas deberán variar, y entonces se tendrá la longitud, tomando lo que le falta al arco CG para 360° quando el astro corresponda al primer quadrante de ascension recta, añadiéndole 180° en el segundo de estos quadrantes, y tomando su suplemento en el tercero. En el quarto quadrante, el simple quarto término calculado será la longitud que se busca.

Ultimamente, para hallar la latitud, hagase:

4° El radio, al seno de la hipotenusa: como el seno del ángulo ACG, al seno de la latitud AG.

La latitud hallada será siempre del mismo nombre que la declinacion dada, á excepcion del caso en que el ángulo ACG se haya restado de la obliqüidad de la ecliptica, porque entonces el astro está situado entre el equador y la ecliptica.

199 La latitud de los astros que se hallan en la ecliptica, como sucede con el Sol que jamás sale de este círculo, es nula; y asi, las posiciones del astro respecto á la ecliptica y equador están de-

determinadas por el mismo triángulo aCK rectángulo en K. Por tanto, *teniendo conocida la obliqüidad de la ecliptica a*CK, *y una de estas tres cosas, la declinacion a*K, *la ascension recta* KC, *y la longitud a*C *de un astro en la ecliptica, se calcularán facilmente las dos que faltan.*

200 *Para calcular*, por exemplo, *la longitud y ascension recta del Sol, por su declinacion*, se hará:

El seno de la obliqüidad de la ecliptica aCK, al seno de la declinacion aK : como el radio, al seno de la longitud aC.

Y para reducir el arco aC dado inmediatamente por el cálculo á la verdadera longitud del Sol, se atenderá al quadrante de la ecliptica en que debe estar, segun el tiempo del año en que se busca su situacion. Quando el Sol camina desde el primer punto de ♈ al de ♋ ó se halla en el primer quadrante de la ecliptica, la misma hipotenusa calculada aC es la longitud actual del Sol. Quando el Sol pasado el punto solsticial de ♋ se mueve ácia el punto equinoccial de ♎ ó está en el segundo quadrante, la longitud es igual al suplemento de la hipotenusa. Quando el Sol se dirige del punto de ♎ al solsticio de ♑ ó está en el tercer quadrante, la hipotenusa aumentada de 180° dá la longitud. Y últimamente, quando el Sol se mueve desde el punto sols-

ti-

ticial de ♑ ácia el primer punto de ♈ la diferencia entre 360° y el arco calculado es la longitud del Sol. El nombre de la declinacion dada manifiesta el semicírculo de la ecliptica en que el Sol se halla; pero, para deducir su longitud verdadera contada desde el primer punto de ♈, es necesario, como se vé, tener además conocimiento del quadrante particular en que se halla, porque en puntos igualmente distantes del mismo solsticio las declinaciones son iguales.

La ascension recta se hallará por la siguiente analogía.

La tangente de la obliqüidad de la ecliptica *a*CK, á la tangente de la declinacion *a*K, como el radio, al seno de la ascension recta CK.

Para determinar por este quarto término el valor de la ascension recta contada desde el punto equinoccial de ♈, se deberán tener presentes las consideraciones del párrafo anterior.

201 *Si dada la ascension recta del Sol ú otro qualquier astro que no tenga latitud, quiere averiguarse su longitud*, se hará:

El coseno de la obliqüidad de la ecliptica, al radio: como la tangente de la ascension recta, á la tangente de la longitud.

Y esta longitud estará determinada por el quadrante á que corresponda la ascension recta dada.

202 *Si por el mismo dato ha de calcularse la declinacion*, se hará:

El radio, al seno de la ascension recta CK: como la tangente de la obliqüidad de la ecliptica *a*CK, á la tangente de la declinacion *a*K.

Y la declinacion calculada será boreal ó austral, segun el Sol esté en los dos primeros ó últimos quadrantes de ascension recta.

203 Si conocidas la latitud y longitud de un astro con la obliqüidad de la ecliptica, quiere calcularse su ascension recta y declinacion, puede usarse la resolucion dada en el párrafo 198, con las variaciones correspondientes á las de los datos del problema.

204 Quando el astro está en la ecliptica, se desvanece, como arriba (201), el triángulo ACG; *y, dada la longitud, puede hallarse la ascension recta y declinacion, diciendo para la primera*:

1° El radio, al coseno de la obliqüidad de la ecliptica: como la tangente de la longitud, á la tangente de la ascension recta.

El quadrante de ascension recta á que corresponda el astro será el 1°, 2° &c. por el mismo orden que el de la ecliptica donde se halle.

Pa-

Para determinar la declinacion, dígase:

2° El radio, al seno de la longitud: como el seno de la obliqüidad de la ecliptica, al seno de la declinacion.

La declinacion será boreal, quando el Sol ó astro que está en la ecliptica se halle en un punto de los seis primeros signos, y austral, quando este punto sea de los seis últimos signos.

205 Como las latitudes y longitudes, y declinaciones y ascensiones rectas determinan los lugares absolutos de los astros en la esfera celeste, por ellas mismas pueden hallarse sus situaciones respectivas, esto es, el valor del arco Aa que mide la distancia entre los dos astros A y a, y el ángulo Aap ó aAp que forma este arco con un círculo de posicion conocida, como los círculos de latitud pA, ó pa. *Fig. 32.*

206 Por exemplo: *dadas las latitudes y longitudes de los dos astros* A, y a, se tendrá, siendo p el polo boreal de la ecliptica, un triángulo Apa en el qual conocidos los lados Ap, y pa y el ángulo Apa, *se calculará el lado* Aa, *diciendo*:

1° El radio, al coseno de la diferencia Apa de las longitudes de los dos astros: como la tangente de la menor de las dos distancias de los astros al polo

p de la eclíptica Ap, á la tangente del primer segmento pB.

Tómese la diferencia ó la suma de este primer segmento y el lado pa, segun el ángulo Apa sea agudo ú obtuso, y se tendrá el segundo segmento aB.

2° El coseno del primer segmento pB, al coseno del segundo aB: como el coseno de la menor de las dos distancias polares Ap, al coseno de la distancia buscada Aa.

Si el lado Ap es agudo, la perpendicular AB lo es tambien, y entonces la distancia Aa es de la misma especie que el segundo segmento aB.

207 Para calcular la misma distancia por medio de los términos que fixan la posicion de los astros al equador, no hay mas que considerar el punto p como el polo del equador, y hacer las mismas proporciones, mudando el nombre de longitud en el de ascension recta, el de latitud en el de declinacion, y tomando la diferencia de las ascensiones rectas en lugar de la diferencia de las longitudes.

DE LA MEDIDA DEL TIEMPO.

208 En el párrafo 46 elegimos una unidad de tiempo necesaria para poder tratar de las relaciones de los movimientos celestes; pero, ántes de pasar mas

mas adelante, convendrá explayarnos sobre este importante punto, é indicar los métodos generalmente adoptados en la Astronomía para medir el tiempo.

209 Como todo movimiento nos ocasiona una sucesion de sensaciones, por las quales, dividiendo el tiempo relativo en partes, formámos idéas de las duraciones de las cosas, es evidente que, en la imposibilidad en que nos hallamos de considerar el tiempo absolutamente, es natural recurrir á compararlo con las circunstancias del movimiento de los cuerpos, para determinar las cantidades del tiempo por los espacios corridos por el movil. Tambien es claro, que, aunque toda especie de movimiento pueda emplearse en este objeto con tal que su progresion nos sea conocida, ninguno debe ser tan propio para manifestarnos las verdaderas cantidades de tiempo como el mas simple y constante, esto es, el movimiento cuya ley sencilla é invariable dé directamente en sí misma á cada instante una justa medida del intervalo de tiempo pasado desde qualquier punto de la carrera. Tal es el movimiento uniforme de un cuerpo cuya traslacion se verifica siempre por iguales grados ó corriendo espacios iguales en iguales tiempos; y asi se vé, que conociendo en la naturaleza un cuerpo que se mueva uniformemente, podrán tomarse las relaciones de sus es-

espacios corridos en lugar de la de los tiempos gastados en ellos.

Suponiendo, pues, perfectamente uniforme la rotacion diurna de la Tierra ó revolucion aparente de todo el Cielo; porque hasta ahora, ni tenemos medio de averiguar sus desigualdades, ni razon para creer que las haya considerables, resulta, que el tiempo podrá medirse inmediatamente por las revoluciones diurnas de qualquiera estrella fixa ó por las del astro errante que se elija, con tal que en este caso se tenga consideracion con las desigualdades que su movimiento propio debe causar en el aparente que procede únicamente de la rotacion de la Tierra sobre su exe. Esto se executa con el Sol que, siendo el objeto mas notable del Universo, debe haberse tomado en todos tiempos y países como la medida natural del tiempo, y en qualquier método se toman los espacios ó arcos del equador corrido por un astro ó meridiano de la Tierra en lugar de los intervâlos correspondientes.

210 Para hacer uso del movimiento del Sol en este objeto, deberá principiarse por establecer un término fixo á que comparar sus revoluciones diurnas, y á este fin varias razones de conveniencia han hecho preferir en la Astronomía el pasage por el meridiano correspondiente al lugar de la Tierra en que

que el observador se halla. La unidad de tiempo que se llama *dia astronómico* es, como hemos visto (170), el interválo que el centro del Sol gasta desde el medio dia ó momento de estar en el plano de un meridiano hasta volver al mismo, verificando una revolucion completa. Este dia, que se divide en veinte y quatro horas ó partes iguales, y subdivide segun queda explicado, principia, como se vé, al instante del medio dia del civil generalmente establecido. Asi, para convertir un instante dado de un modo de contar á otro, se atenderá á que, exceptuando algunas partes de la Italia en donde el dia civil principia al momento en que el Sol se pone, el dia civil adoptado en toda la Europa se divide en doce horas de mañana y doce de tarde ó noche. Las horas de la mañana principian con el dia civil al momento del pasage del Sol por el plano del meridiano debaxo del horizonte, y concluyen en el del pasage por la parte superior del mismo plano, en que principian las horas de la noche hasta acabar el dia. De este modo: el cómputo civil y el astronómico convienen en el dia del mes y hora del dia, desde el medio dia hasta la media noche; pero desde la media noche hasta el medio dia difieren, porque en el instante de la media noche en el tiempo civil principia ya la cuenta de otro

otro día, mientras en el cómputo astronómico se continúa la del mismo hasta completar las veinte y quatro horas. Por consiguiente lo mismo será decir en tiempo civil las 5^h de la tarde ó de la noche del dia 5 de Julio que en tiempo astronómico el 5 de Julio á 5^h; y las 7^h de la mañana del mismo dia en el primer cómputo, que en el segundo el 4 de Julio á 19^h.

211 Para deducir ahora del movimiento aparente del Sol la velocidad uniforme que necesitamos, exâminémos las causas que pueden hacer desiguales los dias solares astronómicos.

Si la Tierra no tuviese mas movimiento que el de la rotacion diurna, todos los dias solares serían perfectamente iguales entre sí, y cada uno duraría lo que una revolucion completa de la Tierra al rededor de su exe. Pero como en el mismo interválo que gasta en verificarla, de modo que, girando de occidente á oriente todos los astros se mueven en sentido contrario aparentemente, corre tambien de occidente á oriente un pequeño arco de su orbita, resulta, que quando el meridiano vuelve despues de un giro á una posicion paralela á la que tuvo al principiar el dia, el Sol no se halla aun en el plano del
Fig. 33. meridiano. Sea S el Sol, T′T un arco de la orbita terrestre, y represente *mr* el plano de un meridiano cu-

cuya prolongacion pasa por el centro del Sol S quando la Tierra está en T. Es evidente, que, si la Tierra describe el arco T T′ en el mismo tiempo en que acaba una rotacion sobre su exe, el meridiano se hallará en *m′r′* paralelamente á su primera posicion *mr*, toda la esfera celeste habrá dado exáctamente una revolucion completa; y, por consiguiente, las estrellas que se vieron en el meridiano quando en *mr* estarán ahora en el mismo en *m′r′*, pero el plano de este círculo no habrá pasado por el Sol aún, y tendrá para llegar á él que hacer un movimiento angular, que sería igual al ángulo TST′, si el exe del equador terrestre fuese perpendicular al plano de la ecliptica T′ST. De lo que resulta generalmente, que los dias solares son de mayor duracion que la revolucion diurna de la Tierra ó aparente de las estrellas.

212 Este exceso es variable y hace irregular la duracion de los dias solares, tanto porque el movimiento angular TST′ varía, como hemos visto, con las distancias de la Tierra al Sol, como porque el exe del equador por donde pasan todos los meridianos no es perpendicular á la ecliptica ó plano de la orbita T T′. En igual tiempo, quando la Tierra se halla en su afelio describe el menor ángulo TST′, y en el perihelio el mayor de todos. Pero,

aunque no hubiera esta diferencia, siempre resultaría una considerable en los dias solares; porque, no siendo los planos de los meridianos perpendiculares á la ecliptica, el ángulo TST' no puede medir la parte de revolucion que le falta al meridiano, para que su plano pase por el Sol. Y es claro, que la relacion del arco de equador que la denota y aquel ángulo variará, segun sea la actual inclinacion del plano del meridiano con la ecliptica.

Para concebir claramente esta segunda causa de la desigualdad de los dias solares, es necesario advertir, que el movimiento medio de la Tierra en su orbita ó movimiento medio del Sol en la ecliptica es de unos $59' \ 8''$ cada dia medio, ó interválo que resultaría constantemente entre los dos pasages del Sol por el meridiano, haciendo abstraccion de las desigualdades de su movimiento: de modo, que si este movimiento fuese uniforme, y representando
Fig. 34. por EL el círculo máxîmo de la esfera terrestre que forma la interseccion del plano de la ecliptica, y EQ el equador terrestre, el Sol corresponderia sucesivamente á todos los puntos de EL, corriendo arcos proporcionales á los tiempos. Supongamos, pues, que el Sol corresponde al punto *m* en un instante en que, por consiguiente, el observador cuyo meridiano es *mr* principia á contar su dia: es claro, que

que al volver despues de una revolucion completa de las estrellas á quedar en $m'r'$ paralelo á su posicion primera, el punto m á que corresponda el Sol distará de m' de un arco mm' que constará de unos $59' \ 8''$. Por consiguiente, será preciso que la Tierra por su rotacion diurna corra el arco mm', ó lo que es lo mismo que el meridiano $m'r'$ describa en virtud del propio movimiento el arco rr' de equador que mide el ángulo horario formado por el meridiano celeste y el círculo de declinacion del Sol, para que llegando el Sol al meridiano se complete el dia solar. Pero, como, segun lo visto y qualquiera que sea el arco mm', el tiempo que el meridiano gasta en correrlo está medido por el arco correspondiente del equador rr', es facil percibir, que el intervalo empleado por un meridiano en correr iguales arcos de la ecliptica debe variar segun la posicion del arco mm' que se compare al equador. En efecto, siendo $m'r'$, mr dos arcos perpendiculares al equador, los arcos $m'm$ del círculo LE que abrazan podrán ser, por razon de la obliqüidad de la ecliptica, mayores, menores ó iguales á sus correspondientes rr' en el equador; y por conseqüencia, el tiempo que el meridiano emplee en volver al Sol, ademas del de la rotacion diurna, debe padecer estas alteraciones que hacen desiguales los dias solares, aun en la suposicion de la unifor-

Hh 2 mi-

midad del movimiento anual. Por lo que resulta demostrado: que el intervalo de tiempo de que consta un dia solar es variable por dos causas, la una porque el movimiento aparente del Sol en la ecliptica no es uniforme, y la otra porque á arcos iguales en la ecliptica corresponden arcos desiguales en el equador.

213 Estos dias desiguales, determinados por los pasages reales del Sol por el meridiano, se llaman *dias verdaderos ó aparentes*. Pero habiendo de hacer uso de estos dias, es necesario emplearlos para deducir por su medio la hora que se contaría en un instante determinado, si el movimiento del Sol fuese tal que resultasen todos los dias iguales. Las reducciones del tiempo verdadero al de esta hipótesis servirán, estableciendo una unidad general que facilite los cálculos é inteligencia, para distinguir los instantes en términos comunes é invariables.

Supongamos, pues, que la Tierra se mueve constantemente en su orbita, de modo que el arco mm' del círculo LE comprehendido entre los puntos m y m' opuestos al Sol en los instantes de principiar y concluir cada dia solar, es siempre tal, que el arco correspondiente rr' del equador resulte igual al movimiento aparente medio del Sol en la ecliptica ó de $59' \ 8''$. Ó, para hacerlo mas sensible, traslaladémos al Sol el movimiento de la Tierra, é imaginémos un astro que con movimiento uniforme describa el equador de occidente á oriente, empleando en correrlo el mismo tiempo que el Sol gasta en la ecliptica en su revolucion anual. No tiene duda, que, siendo el movimiento diurno de este astro en el equador igual al movimiento medio del Sol en la ecliptica ó de $59' 8''$, todos los dias que señalen sus sucesivos pasages por el meridiano serán perpetuamente iguales entre sí. Asi, este es el dia que generalmente se emplea en la Astronomía para reducir el tiempo á un mismo módulo, y se llama *dia medio*, del mismo modo que *tiempo uniforme*, *igual* ó *medio* el contado por este método.

214 El dia verdadero, pues, difiere del dia medio y solo en casos particulares duran igualmente. En el interválo del dia medio se verifica, como hemos visto, una revolucion completa de las estrellas mas $59' 8''$ de la revolucion siguiente; pero, en el de un dia verdadero, pasan por el meridiano los $360°$ de una revolucion de la esfera celeste mas el movimiento aparente del Sol en ascension recta, durante los dos pasages por el meridiano que determinan el dia aparente. Supongamos, que el Sol y el astro imaginario concurriéron en el mismo semicírculo de declinacion ó tuviéron igual ascension recta

en

en un instante determinado ; este será el término comun de donde deberán principiarse á contar los dos dias verdadero y medio ; y es claro , que , al completar el Sol medio una revolucion en el meridiano , la diferencia entre el dia medio y tiempo verdadero que se cuente en el mismo instante computado en tiempo medio será igual á la diferencia entre los $59' 8''$ del movimiento en ascension recta del Sol imaginario y la cantidad del movimiento verdadero del Sol en ascension recta convertida en tiempo á razon de $15°$ por hora , que es lo que valen los ángulos horarios. Despues de un intervalo qualquiera , la suma de los dias medios diferirá del tiempo verdadero de una cantidad igual al cúmulo de todas las diferencias que hayan resultado en cada dia medio , y esta diferencia del tiempo medio y tiempo verdadero forma la *equacion del tiempo* : que se calcúla adicionando aquellas diferencias , ó lo que es lo mismo , tomando la diferencia , convertida en tiempo segun acabamos de decir , entre la actual ascension recta verdadera del Sol y la ascension recta correspondiente del Sol imaginario. Pero como este último astro hemos supuesto que se mueve en el equador con una velocidad constante , igual al movimiento medio del Sol en la ecliptica , ó que su ascension recta es la misma que la longitud media del Sol,

Sol, la misma equacion del tiempo es igual á la diferencia entre la longitud media, y la ascension recta verdadera del Sol convertida en tiempo.

215 Sin embargo, como la equacion del tiempo resulta de dos principios diferentes, en la práctica se halla por una operacion doble y consta de dos partes: la primera es la diferencia entre la longitud media y la longitud verdadera, ó la equacion de la orbita convertida en tiempo: la otra es la diferencia entre la longitud verdadera, y la ascension recta verdadera, tambien convertida en tiempo. En todas las solares se encuentran tablas que contienen una y otra parte, y tambien se reunen, formando una sola de ambas para la mayor facilidad de su uso; pero estas últimas tablas de la equacion del tiempo no son exâctas para muchos años, porque, contra la verdad, suponen fixa la línea de las apsidas de la orbita terrestre, y asi solo pueden emplearse con correcciones que desvanezcan sus errores.

216 Como la época primitiva del movimiento medio sería el tiempo en que el apogéo (308) del Sol coincidiese con el punto equinoccial de primavera, concurriendo en él al mismo instante los dos Soles imaginario y verdadero, solo en este caso podrian ser nulas las dos causas de la equacion del tiempo, pero en todos los demas subsiste siempre una

de

de ellas aunque se desvanezca la otra. La equacion del tiempo, sin embargo, es nula quatro veces al año, ácia el 14 de Abril, el 15 de Junio, el 31 de Agosto, y el 23 de Diciembre; porque, destruyéndose recíprocamente entonces las dos causas de desigualdad, la ascension recta verdadera del Sol es igual á su longitud media.

217 Pasados estos términos en que el Sol imaginario concurre con el verdadero, la ascension recta verdadera del Sol principia á diferir de la longitud media, y á ser distintos los cómputos del tiempo medio y tiempo verdadero. La equacion del tiempo vá creciendo, por consiguiente, cada dia hasta que la diferencia entre la ascension recta verdadera y su longitud media, cesando de aumentar, está ya al punto de ir á ménos: en cuya sazon el tiempo verdadero llega á su máxîma diferencia del tiempo medio. Esto sucede el 10 de Febrero en que el tiempo medio excede al verdadero de unos 14′ 40″, el 14 de Mayo en que, al contrario, el tiempo verdadero excede al medio de 4′, el 26 de Julio en que el tiempo medio vuelve á tener la ventaja de 6′ sobre el verdadero, y el 2 de Noviembre en que el tiempo verdadero llega á exceder al medio de 16′ 10″. Pero todos estos dias son de duracion igual al medio; porque las diferencias entre las ascensiones rectas ver-

verdaderas del Sol y su longitud media, habiendo llegado á aumentar todo lo posible y no habiendo principiado á disminuir todavia, el movimiento verdadero del Sol en ascension recta es igual á los $59'$ $8''$ del movimiento medio. De lo que resulta: que el dia verdadero no es igual al medio, sino quando el tiempo verdadero difiere todo lo posible del tiempo medio.

218 Ademas del tiempo medio y verdadero, se cuenta el del *primer movil*, que es la basa de ambos, porque consiste en la rotacion diurna de la Tierra, despejada de las desigualdades á que es preciso atender quando se considera el tiempo medido por los dias solares. Un dia del primer movil consta del intervalo que una estrella emplea en describir los $360°$ para volver al meridiano, y su duracion en tiempo medio se hallará, haciendo $360°\ 59'\ 8''\frac{1}{3} : 24^h = 360° : 23^h\ 56'\ 4''$. Este quarto término restado de 24^h dá $3'\ 56''$ por la cantidad de que una estrella precede al Sol cada dia, contada en tiempo medio al instante del pasage de la estrella por el meridiano.

219 El dia del primer movil, lo mismo que el medio y verdadero, se divide en veinte y quarro horas, estas en $60'$ &c. de lo que resulta que las horas solares medias difieren de las horas solares

verdaderas, y de ambas las del primer movil. La diferencia entre unas y otras procede de la de los dias correspondientes; y asi se vé, que las horas solares medias y las del primer movil tienen constantemente la misma diferencia, pero que las horas solares verdaderas deberán ser diferentes de aquellas como lo son entre sí, segun los dias en que se tomen. En el intervalo de una hora del primer movil pasan constantemente por el meridiano 15° del equador ó esfera celeste, en una hora de tiempo medio pasan igualmente 15° 2′ 8″ de la misma esfera, pero en una hora de tiempo verdadero pasa la 24 parte de 360° mas el movimiento verdadero del Sol en ascension recta el dia determinado.

220 El tiempo del primer movil, que por su naturaleza es uniforme y cuya unidad efectiva está denotada por los mismos fenómenos celestes, sería por esta razon mas aproposito que otro alguno para escala comun del tiempo. Sin embargo, como en la vida civil se prefiere el método de computarlo por los dias solares, que hacen una division del tiempo mas visible á todo el mundo y de influxo mas inmediato en los usos de la sociedad, la Astronomía tambien ha adoptado el mismo método; pero, empleando igualmente el tiempo medio, que, siendo tan constante uniforme é igual como el del pri-

primer movil, es propio para expresar todos los tiempos pasados y futuros.

221 Un relox, cuyo movimiento fuese perfectamente uniforme, señalaría siempre la misma suma de minutos en todas las revoluciones de las estrellas, y si estuviese arreglado al tiempo medio se pasarían en él $23^h\ 56'\ 4''$ en cada una de estas revoluciones. Por consiguiente, será facil exâminar si un relox anda conforme al tiempo medio, observando si señala precisamente $23^h\ 56'\ 4''$ de intervàlo entre el momento del pasage de qualquier estrella por un término fixo, y el de completar una revolucion con su vuelta al mismo término. El relox adelantará ú atrasará respecto al tiempo medio, á proporcion del mayor ó menor intervàlo que señale entre estos dos instantes; y si comparadas las cantidades halladas en un cierto número de revoluciones, se encontrase siempre el mismo, resultará que el movimiento del relox, aunque no conforme al tiempo medio, es uniforme; y en tal caso podrá servir lo mismo que si sus divisiones fuesen iguales á las del tiempo medio, porque, sabiendo la relacion constante que hay entre sus horas, minutos &c. con las partes del mismo nombre de un dia medio, será facil deducir, por el que indique el relox, el tiempo medio, y recíprocamente.

DEL METODO DE OBSERVAR EL TIEMPO verdadero, y en particular del de las alturas correspondientes.

222 Aunque el tiempo medio es el mas propio para las expresiones generales, no tiene duda que el verdadero es el que conocemos por la observacion. La equacion del tiempo sirve para pasar del conocimiento del uno al del otro; pero, para aplicarla debidamente, se hace preciso poder averiguar con precision, qué tiempo verdadero se cuenta al instante en que se ha observado algun fenómeno celeste, ó quales son las duraciones de los dias verdaderos denotadas en un relox. Lo que consiste, en deducir de las observaciones la hora que el relox señala al momento en que el centro del Sol está en el meridiano.

223 Son varios los medios que pueden emplearse en esta averiguacion. Como el Sol desde que sale vá aumentando de altura, hasta que llegando á su máxima en el meridiano vuelve á descender hasta ponerse, no hay mas que seguir el movimiento del Sol, y notar al instante de su mayor elevacion el que el relox señala, para tener el momento en que principia ó acaba el dia verdadero. Pero este método

es

es poco exâcto, porque en las cercanías del meridiano el movimiento en altura es tan lento, que aun á pesar del mayor cuidado es dificil atinar con el instante de la máxîma.

224 Para evitar aquellos errores, puede emplearse un plano como el de una pared, que esté exâctamente en el meridiano; pues se vé, que con advertir el estado del relox al tiempo en que el centro del Sol llega á descubrirse en la direccion de la visual coincidente con el plano, se tendrá la hora que el relox señala al momento del medio dia verdadero. La exâctitud de este método depende del acierto con que se haya hallado la direccion del meridiano, para elevar despues sobre ella la superficie vertical de la pared; y asi, convendrá explicar el procedimiento que debe seguirse para trazar una línea meridiana, que es el primer fundamento de la Astronomía práctica.

Sea el círculo MS'OHS la circunferencia del horizonte, S el Sol al salir, y S' al ponerse, G el pié de un gnomon, estilo ó piquete colocado perpendicularmente al horizonte, y GO, GH sus sombras quando el Sol sale y se pone. Es claro, que estando el Sol en S y S' á distancias iguales del meridiano que pasa por M, si se divide el ángulo SGS' ó arco SS' en dos partes iguales, la línea MGR Fig. 35.
da-

dará la intersección de los planos del horizonte y meridiano, que es la que se llama *línea meridiana.*

225 Pero como el método anterior exige un horizonte enteramente descubierto, á los puntos en que la altura del Sol es nula se substituyen otros dos en que el Sol está á igual elevacion ántes y despues de su pasage por el meridiano. Si, en vez de las sombras del Sol al estár en S y S′, se emplean, por exemplo, las que resultan una hora despues de haber salido y ántes de ponerse, se tendrán otras dos sombras GA, GB mas próximas al meridiano, y por consiguiente mas cortas, pero siempre á iguales distancias del meridiano; y asi, bastará tomar el medio *m* entre las dos sombras, para tener la línea meridiana G*m*R.

Teniendo, pues, un plano hecho perfectamente horizontal por medio de niveles, y un aplomo ó estilo G, puede describirse un arco AB, y observar el momento en que la sombra de la mañana cae en B, y la de la tarde en otro punto A del mismo arco. Siendo las alturas del Sol iguales en estos momentos, las dos sombras deberán estár á igual distancia del meridiano; y asi, dividiendo el arco AB en dos partes iguales, se hallará como arriba el punto *m*, que con el del estilo G determinará la línea meridiana G*m*R. Para adquirir en este método toda la exácexâctitud posible , pueden multiplicarse las operaciones , describiendo varios círculos concéntricos , cada uno de los quales dará un punto de la línea meridiana , y todos juntos con mas precision la direccion que se pretende.

Sin embargo , no es de disimular que este método está sujeto á algunos cortos errores en no practicándose á los tiempos de los solsticios , porque el Sol no se mantiene exâctamente , como hemos supuesto , en el mismo paralelo durante todo el dia. Pero las correcciones de estos errores se deducirán facilmente de lo que dirémos mas abaxo , y en los usos ordinarios pueden despreciarse.

226 De las mismas operaciones practicadas para trazar la meridiana resulta un método facil de hallar el momento del pasage del Sol por el meridiano. Supuesto que el Sol tiene la misma altura á iguales intervalos de su pasage por el meridiano, para tener el momento de este pasage basta observar los instantes en que llega á una cierta altura quando se eleva en la parte de oriente y desciende en la de occidente; y el medio entre los que indicó el relox será el que señalaba quando el Sol estaba en el meridiano.

Pero , para deducir este resultado , es necesario tener presente , que como el relox no señala las horas

ras constantemente, segun el orden natural, sino por periodos de doce horas, las horas de la tarde deberán tomarse aumentadas de 12^h, y la mitad de su suma con las de la mañana indicará el instante medio.

227 Con tanta facilidad se hallaría el momento del pasage del Sol por el meridiano, si se mantuviese todo el dia en el mismo paralelo; pero, como este astro, describiendo obliqüamente en la ecliptica un arco de cerca de un grado cada dia, necesariamente se aproxîma ó aleja del equador de una cantidad que algunas veces llega á un minuto por hora, resulta, contra lo supuesto, que su arco ascendente difiere de su arco descendente, y que los ángulos horarios á los dos momentos en que se halla á la misma altura no siendo iguales, el instante del pasage por el meridiano tampoco es el exâcto medio entre ellos.

228 Imaginando, por exemplo, un almicantarát, es claro, que el tiempo que el Sol empleará en pasar de este círculo al meridiano será mas largo ó breve que el tiempo empleado en moverse desde el meridiano hasta el mismo paralelo, segun el Sol se haya alejado ó aproxîmado al polo elevado en este interválo; y que asi, será necesario aplicar una corta correccion al instante medio hallado, para tener el del medio dia verdadero.

Sea

Sea HZPO el meridiano, Z el zenit del observador, P el polo elevado, AL un almicantarat, HO el horizonte, ZSV el vertical del Sol quando estuvo en un punto S de AL ántes de su pasage por el meridiano, Z S′V′ el vertical del Sol por la tarde al llegar á otro punto S′ de AL, y *ab*, *a′b′* los paralelos correspondientes á S, S′. Con estas suposiciones, tendrémos dos triángulos, el uno SPZ, que es el de la mañana y cae al oriente del meridiano, y el otro S′PZ, que es el de la tarde y cae á occidente. Estos triángulos tienen un lado comun PZ igual al complemento de la altura del polo ó latitud geográfica del observador, dos lados iguales ZS, ZS′ que miden las distancias al zenit ó los complementos de las alturas iguales SV y S′V, y los lados SP, S′P que difieren entre sí de una cantidad igual á la variacion de la declinacion del Sol en el tiempo que gastó de S á S′. Conociendo, pues, los tres lados de cada uno, será facil calcular por las reglas de la trigonometría esférica los ángulos horarios ZPS, ZPS′; y su semidiferencia, convertida en tiempo á razon de 15° por hora, será la correccion que deberá aplicarse al tiempo hallado por el simple medio entre los instantes de las dos alturas, para tener el momento exâcto del medio dia verdadero. *Fig. 36.*

229 Para no dexar duda sobre el fundamento de la regla precedente, supongamos que h representa el ángulo horario del Sol en grados al momento de la altura de la mañana, y h' el ángulo horario del Sol al estár en igual altura por la tarde. Es claro, convirtiendo en tiempo uno y otro ángulo, que $\frac{h+h'}{2 \cdot 15}$ será el semiintervalo que divide los instantes en que se verificáron las dos alturas. Por lo que, para hallar la diferencia entre la hora media y el instante del pasage del Sol por el meridiano, se deberá tomar la diferencia entre el horario de la mañana en tiempo $\frac{h}{15}$ y el semiintervalo $\frac{h+h'}{2 \cdot 15}$; y asi resulta, que la correccion que exíge el simple medio dado por el relox es igual á $\frac{2h-h-h'}{2 \cdot 15}$ $= \frac{h-h'}{2 \cdot 15}$.

230 Esta correccion deberá restarse del medio dia concluido por el simple medio, quando el Sol se aproxima al polo elevado, esto es, desde el 21 de Diciembre hasta el 21 de Junio en los países cuya latitud es septentrional, y desde el 21 de Junio hasta el 21 de Diciembre en los que tienen latitud meridional. Y la misma correccion será aditi-

tiva quando el Sol se aleja del polo elevado, esto es desde el 21 de Junio hasta el 21 de Diciembre en las latitudes septentrionales, y desde el 21 de Diciembre hasta el 21 de Junio en las meridionales. Regla, cuya razon es evidente á la sola inspeccion de la figura 36; pues se hecha de ver, que el menor ángulo horario es el formado por la mayor distancia del Sol al polo, y que, por consiguiente, la correccion deberá ser substractiva ó aditiva, segun esta mayor distancia corresponda á la mañana ó á la tarde.

231 Este método de hallar el instante del pasage del Sol ú otro astro por el meridiano se llama el de las *alturas correspondientes*, porque asi se distinguen las alturas iguales tomadas por mañana y tarde. Y la correccion que se aplica á la hora media del relox es la *equacion de las alturas correspondientes.*

232 Esta equacion se halla por un cálculo mas breve, buscando directamente la variacion del ángulo ZPS. Para esto, despues verémos (478), que si en un triángulo como ZPS en el qual los lados ZP y ZS son constantes, el tercer lado PS varía de una pequeña cantidad dPS, la variacion resultante en el ángulo ZPS es igual á $dPS \times \left(\frac{cot.ZP}{sen.ZPS} - \frac{cot.PS}{tang.ZPS}\right)$; por donde, tomando

la mitad y convirtiéndola en tiempo, se infiere, que la equacion de las alturas correspondientes es entonces igual á $\frac{\frac{1}{2}dPS}{15}\left(\frac{cot.\,ZP}{sen.\,ZPS}-\frac{cot.\,PS}{tang.\,ZPS}\right)$, esto es $\frac{variac.\,de\,decl.}{30}\left(\frac{tang.\,lat.}{sen.\,ang.\,hor.}\pm\frac{tang.\,declin.}{tang.\,ang.\,hor.}\right)$. El signo $+$, para quando la declinacion del Sol sea de nombre contrario al polo elevado, y el signo $-$, para quando la declinacion sea del mismo nombre; como es facil ver, atendiendo á que la fórmula empleada supone que el arco PS es de ménos de $90°$, y que las tangentes de las declinaciones deben tener signos diferentes segun los lados del equador á que correspondan.

233 Por esta fórmula se han calculado tablas generales de la equacion de las alturas correspondientes para todas las latitudes, horas del dia y movimientos del Sol. Estas tablas se componen de dos partes, de las quales, la una, que es igual á $\pm\frac{variac.\,de\,declin.}{30}\times\frac{tang.\,declin.}{tang.\,ang.\,horar.}$, es constante para todos los países, y la otra que procede del resto de la fórmula varía segun las latitudes, y dando el valor de $\frac{var.\,de\,declin.}{30\,sen.\,ang.\,hor.}$ debe multiplicarse por la tangente de la latitud ántes de emplearla. En el uso de

de tales tablas, lo mismo que en la aplicacion de la fórmula general á los casos particulares, deberá tenerse especial atencion á los signos que indican las operaciones que han de hacerse con sus dos partes, y resultan de la combinacion de la regla general del párrafo 230 y la particular apuntada en el 232.

234 Quando se toman alturas del Sol, para deducir por ellas el instante de su pasage por el meridiano, lo mejor es observar hasta ocho ó diez por la mañana y otras tantas correspondientes por la tarde, y comparar cada altura de mañana con su igual de tarde, calculando sus resultados separadamente. Todos estos resultados serían perfectamente iguales, sino se hubiese introducido algun error en las operaciones; pero, como en la práctica esto sucede raras veces, es necesario despues compartir las diferencias, sumando todos los resultados y dividiendo por el número de ellos para tener un medio. Los astrónomos generalmente se contentan tambien con el único medio dia hallado por las dos alturas medias entre las observadas por la mañana y tarde.

235 En la práctica de las observaciones de alturas correspondientes hay dos circunstancias á que principalmente debe atenderse, porque influyen directamente en la exâctitud del método. La una es la

la uniformidad del relox sobre que se cuenta, la qual exîge que no se ponga un gran intervállo entre las dos observaciones correspondientes, para no aumentar con el tiempo el peligro de la demasiada confianza. La otra depende de los errores que pueden cometerse en las observaciones, y esta consideracion obliga á elegir los momentos en que estas tengan el menor influxo posible en el cálculo de los ángulos horarios. Ordinariamente se toman las alturas ácia las 9 de la mañana; pero el observador debe exâminar los límites de ambos errores para executar sus operaciones en las circunstancias mas favorables, y á este fin podrá hacer uso de las analogías diferenciales que demostrarémos ántes de concluir estos principios (450 y siguientes).

236 Calculada la hora del pasage del Sol por el meridiano, se deduce facilmente la hora verdadera de qualquier otra observacion. Hayase hallado, por exemplo, que el primero de Enero al instante del pasage superior del Sol por el meridiano, el relox señalaba $0^h\, 3'\, 57''$, y que en el sucesivo pasage en que principia el 2 de Enero la hora en el relox era $0^h\, 4'\, 45''$. Se vé, que el relox adelantaba al Sol $48''$ cada dia, ó que en el intervállo de aquel dia verdadero habia andado $24^h\, 48''$, debiendo solo andar 24^h justas. Supongamos ahora, que por la tarde se observ-

servó un fenómeno celeste, quando el relox señalaba $9^h\ 30'\ 57''$, y veamos qué tiempo verdadero corresponde á esta hora.

Tomando la diferencia entre $0^h\ 3'\ 57''$, y $9^h\ 30'\ 57''$, se hallará que el intervalo entre el pasage del Sol por el meridiano y el instante del fenómeno, medido por el relox, es de $9^h\ 27'$, y ésta tambien sería la hora verdadera si el movimiento del relox fuese conforme al Sol; pero, como el relox adelanta $48''$ cada dia, deberá hacerse esta proporcion $24^h\ 0'\ 48'' : 48'' = 9^h\ 27' : x$, que es la cantidad $19''$ que debió adelantar entre el pasage del Sol por el meridiano y la observacion del fenómeno. Añadiendo, pues, estos $19''$ á $0^h\ 3'\ 57''$, se tiene $0^h\ 4'\ 16''$ por la cantidad del adelanto absoluto del relox á la hora de la observacion, y restándola de la hora que entonces señalaba ó de $9^h\ 30'\ 57''$, resulta $9^h\ 26'\ 41''$ por el tiempo verdadero buscado.

237 Se vé, pues, que para el uso de los reloxes en la Astronomía importa poco que el relox señale la hora que es ú otra muy diferente, y que sus horas sean mas largas ó mas cortas que las solares. El método que acabamos de explicar sirve para encontrar y tener en consideracion estas diferencias, que conocidas no pueden acarrear error. Pero siempre se supone que el movimiento del relox sea uni-

uniforme, sin cuyo requisito las desigualdades no serían proporcionales á los tiempos, y carecerían de fundamento las reglas dadas.

238 El método de las alturas correspondientes se aplica tambien á las estrellas y planetas, y es el mas exâcto y natural de los que pueden emplearse para hallar los instantes de los pasages de los astros por el meridiano.

DEL MODO DE OBSERVAR, Y USOS DE la ascension recta y declinacion de los astros.

239 La declinacion de los astros se determina facilmente por las observaciones de sus alturas meridianas comparadas á la altura del equador en el lugar donde el observador las ha hecho (114, 161).

240 En quanto á las ascensiones rectas, es claro, que como todos los astros que están en el mismo círculo de declinacion tienen igual ascension recta, y que los círculos de declinacion, lo mismo que los meridianos, son perpendiculares al equador, todos los planos de los primeros círculos llegan sucesiva y uniformemente á confundirse con el plano de un meridiano qualquiera. De lo que resulta, que todos los astros que pasan al mismo tiempo por un meridiano tienen en aquel instante la misma ascension

sion recta, y que los astros que pasan en tiempos diferentes tienen ascensiones rectas proporcionales á los intervålos de tiempo que dividen sus pasages por el mismo meridiano. Midiendo, pues, estos intervålos podrá venirse en conocimiento de la diferencia de las ascensiones rectas de dos astros; y, si la ascension particular de uno es conocida, se deducirá facilmente la del otro.

241 Por exemplo: si averiguando, por alguno de los métodos apuntados en la seccion antecedente, los instantes en que dos estrellas M, B pasaron por el meridiano MR, se halla el intervålo de tiempo entre los dos pasages, será facil calcular en grados la diferencia de ascension recta correspondiente MB, acordándose de que el tiempo medio que la estrella gasta en verificar una revolucion completa es igual á $23^h\ 56'\ 4''$; y que asi, deberá hacerse $23^h\ 56'\ 4''$, tiempo de una revolucion entera, son á los $360°$ del equador que pasan por el meridiano en este tiempo: como el intervålo a, es al quarto término, que dará la diferencia de las ascensiones rectas de los dos astros. Las observaciones de ascensiones rectas se reducen, pues, á determinar absolutamente la ascension recta de una estrella qualquiera, y medir en un relox uniforme los intervålos de tiempo que dividen los pasages de *Fig.* 37.

esta estrella y de los demás astros por el mismo meridiano.

242 La ascension recta de la estrella que ha de servir de término de comparacion para todos los demás astros se determina de este modo: Quando el Sol se halle en las proxîmidades del equinoccio, observese su altura meridiana, y su diferencia en ascension recta con la estrella elegida. Quando el Sol, pasado el solsticio siguiente, ha vuelto á igual altura, repitase la misma operacion; y por este medio se concluirá la diferencia de las ascensiones rectas del Sol y estrella para cada uno de los dos instantes en que el Sol pasó por el mismo paralelo. Estas diferencias manifestarán el arco de equador que mide el movimiento del Sol en ascension recta durante el interválo que empleó en volver al mismo paralelo, y la mitad de este arco dará la distancia del Sol al coluro de los solsticios medida en el equador; por la qual se inferirá inmediatamente la ascension recta del Sol, y por esta y la diferencia observada con la estrella la ascension recta de la misma estrella.

243 Este método sirve tambien para determinar por observacion los tiempos de los solsticios. Conociendo por las observaciones precedentes las diferencias de ascension recta entre el Sol y una estrella, quando aquel se halla á iguales distancias del sols-

solsticio, el medio entre una y otra diferencia dará la diferencia de ascension recta entre el Sol y la estrella en el preciso momento del solsticio; y así, observando quando el Sol ha llegado á tener esta diferencia, se estará seguro de que aquella es la hora en que se verificó el solsticio.

244 Conocidas de este modo las ascensiones rectas y declinaciones de los astros, pueden emplearse en muchos usos importantes. Por estos dos datos se deducen, como hemos visto (198), las longitudes y latitudes de los astros, los ángulos horarios (171 y siguientes) que corresponden á una cierta altura ó azimut, y recíprocamente la altura y azimut que corresponden á cada ángulo horario, las amplitudes, y los arcos semidiurnos. Y estos mismos principios, por medio de otras combinaciones, son aun capaces de aplicaciones mas extensas.

245 Conocidas, por exemplo, la declinacion de un astro y la latitud de un lugar, puede hallarse la altura á que pasará el astro por el meridiano de este (161).

246 Conocidas tambien las ascensiones rectas del Sol y un astro qualesquiera, será facil hallar, por su diferencia, el ángulo horario del astro (249) á qualquier instante; y con este dato, la declinacion y altura del polo, la altura del astro sobre

el horizonte al mismo instante (178).

247 Del mismo modo, dada la ascension recta de un astro, puede hallarse la hora de su pasage por el meridiano, como de los pasages por el meridiano se deduxo la ascension recta. Para esto,

Fig. 37. restese la ascension recta del Sol ♈☉, tomada al momento del pasage del astro por el meridiano, de la del astro ♈M; y la diferencia M☉ convertida en tiempo, á razon de 15° por hora, dará la hora del pasage del astro, ó intervalo que ha mediado entre el del Sol y el del astro.

248 Para estos cálculos, no siendo regular que se conozcan exâctamente las ascensiones rectas del Sol y astro en el preciso momento del pasage por el meridiano que se busca, se usa al principio de una aproxîmacion, empleando las de una hora inmediata á la del pasage. Y si despues se halla, que en la de este debieron haber ya variado las ascensiones rectas, se repite el cálculo, tomando las correspondientes á la hora dada por las primeras operaciones.

249 La ascension recta sirve tambien para hallar en un instante dado la distancia de un astro al meridiano de un lugar, ó el ángulo horario formado por el actual meridiano celeste del lugar y el círculo de declinacion del astro. Para esto considerese

que

que $M\odot - \odot B = MB$, ó $M\odot - (\Upsilon B - \Upsilon \odot)$ *Fig.* 37.
$= MB$; de donde resulta la siguiente regla: el tiempo verdadero, convertido en grados, ménos la diferencia de ascensiones rectas (esto es la del astro ménos la del Sol), dará el ángulo horario del astro, contado de oriente á occidente hasta $360°$.

250 Es de advertir, que quando en una regla general como la de arriba, se prescribe restar la ascension recta ó longitud de un astro particular de la de otro, sin atender á si la primera es menor que la segunda, debe entenderse, que, en todo caso que no permita verificar la substraccion simplemente, debe tomarse la ascension recta ó longitud menor con la adicion de $360°$, y proseguir en todo lo demás como si esta suma fuese la simple ascension recta.

251 La equacion $M\odot - (\Upsilon B - \Upsilon \odot) = MB$ puede expresarse de este modo $M\odot + \Upsilon \odot - \Upsilon B = MB$; y de aqui resulta otra regla que podrá usarse quando se tengan las ascensiones rectas separadamente. La ascension recta del Sol, añadida al tiempo verdadero convertido en grados, ménos la ascension recta del astro, es igual al ángulo horario de este.

252 En lugar del tiempo verdadero y ascension recta verdadera, puede emplearse el tiempo me-

dio

dio y la longitud media del Sol; porque es evidente, que la diferencia que haya entre la longitud media ó ascension recta media y la verdadera ♈ ☉ es igual y en sentido contrario á la que resulta de la misma entre el tiempo verdadero y el tiempo medio: de modo, que, siendo la ascension recta media mayor que la ascension recta verdadera, el tiempo medio será mas corto de la misma cantidad, y recíprocamente; de lo que se sigue, que el ángulo horario de un astro es igual á la longitud media del Sol, mas el tiempo medio convertido en grados, ménos la ascension recta del astro.

253 Otro de los principales usos de la ascension recta es hallar la hora por la altura de un astro qualesquiera. El tiempo verdadero al instante de tomar la altura de un astro no es otra cosa que la distancia M ☉ del Sol al meridiano, ó ángulo horario en que el Sol se encuentra entonces. Asi, habiendo calculado para el momento en que se tomó la altura la ascension recta del astro y la del Sol, no habrá mas que restar la segunda de la primera; y restando de esta diferencia el ángulo horario hallado, si la estrella está á la parte oriental del meridiano, y sumándola si á la occidental, la diferencia ó suma, convertida en tiempo á razon de 15° por hora, dará la hora verdadera contada desde 0^{h} has-

hasta 24^h. Pero, para tener las ascensiones rectas correspondientes al instante que se desea, es necesario recurrir al método de aproximacion apuntado (248).

254 Las ascensiones rectas se aplican tambien á la determinacion de la hora en que los astros salen y se ponen; pues es claro, que, haciendo igual á cero la altura en los casos antecedentes, se tendrá, siguiendo las mismas reglas, el horario del Sol en el horizonte á oriente ú occidente.

255 Si la diferencia de ascension recta entre el astro y el Sol no varía sensiblemente en el interválo que el astro emplea en pasar de su actual altura al meridiano, puede abreviarse el cálculo por medio de las tablas que contienen los arcos semidiurnos convertidos en tiempo á razon de $15°$ por hora para diferentes grados de latitud y declinacion; pues, restando el correspondiente arco semidiurno de la hora del pasage por el meridiano, quando se busca el momento del salir, ó sumándolo, quando se busca el de ponerse, se tendrá el tiempo que se desea. El mismo método puede emplearse en iguales circunstancias para hallar la hora que se cuenta al tiempo de una altura, substituyendo en las operaciones, en vez del arco semidiurno de las tablas el ángulo horario del astro calculado por su altura y con-

convertido en tiempo á razon de 15° por hora.

256 Pero es de advertir, que la hora que resulta haciendo la distancia del astro al zenit igual á 90°, nunca dá el verdadero instante de la aparicion ó desaparicion del astro en el horizonte, por haber generalmente una causa que aumentando la elevacion aparente sobre el horizonte anticipa la presencia de todos los astros, y otra que haciendo el efecto contrario retarda la de los mas próxîmos á la Tierra. En adelante (272, 287) hablarémos particularmente de la naturaleza y efectos de ambas causas, y por ahora bastará que distingamos con el nombre de refraccion la primera, y con el de paralaxe la segunda. Siempre que se quiera, pues, calcular el tiempo de la efectiva aparicion de los astros en el horizonte, será necesario atender á la cantidad de que estas causas hacen variar el arco de 90° de la distancia al zenit á que sin su combinacion nos serían visibles, y resolver con este dato el triángulo; cuyo ángulo horario dará entonces la verdadera hora buscada.

257 Quando para hallar la hora del salir ó ponerse un astro se han practicado las operaciones del párrafo 254, puede calcularse la correccion necesaria á aquel resultado para tener el verdadero instante en que cesa ó principia á verse un astro,

em-

empleando la fórmula diferencial del número 476 : por la que resulta, que dicha correccion es

$$= \frac{\textit{difer. refracc. y paralaxe}}{15\sqrt{(\cos^2 \textit{declin.} - \textit{sen}^2 \textit{altura de polo})}}.$$

No debe disimularse, que para la exâctitud de esta fórmula es necesario que la refraccion paralaxe y dh sean cantidades muy pequeñas; pues de otro modo, faltaria el principio sobre que se funda. Asi, en las grandes latitudes, su uso podrá producir algunos errores, pero estos serán cortos y podrán evitarse por el método rigoroso.

CONSIDERACIONES GENERALES de las apariencias que deben resultar de la posicion del observador en el centro de la Tierra.

258 Para explicar las circunstancias de las ilusiones producidas por el movimiento anual de nuestro globo, como hemos hecho con las resultantes de la rotacion diurna, es necesario distinguir ántes las diferencias que la posicion del observador en su orbita causa en la aparente de los astros.

259 Considerando al observador en el centro de la Tierra es evidente, que, estando á una gran distancia del Sol no podrá ver ni referir los cuerpos celestes á los lugares en que los percibiria si estu-

viese en el centro de aquel astro; y que así, determinando las situaciones de los astros por comparaciones á la ecliptica, que es lo mas natural para un observador colocado como hemos supuesto, la longitud y latitud que les atribuya no podrán ser las en que se les vería desde el centro del Sol. Sea
Fig. 38. EARC la orbita de un planeta considerada como un círculo (118), EBDC la ecliptica, y A el lugar del planeta. Tirando un arco de círculo de latitud AB, que pasando por el centro del planeta cae perpendicularmente á la ecliptica EBDC, el punto B será el lugar del planeta reducido á la ecliptica, y por consiguiente el que señala su longitud. Los puntos E y C, en que la orbita del planeta corta la ecliptica, se llaman sus *nodos*; y como todos los planos de las orbitas planetarias pasan por el Sol, es claro; que los nodos están diametralmente opuestos respecto al Sol. El nodo E, en que se halla el planeta quando pasa de la parte austral á la boreal de la ecliptica, se llama *nodo ascendente*, porque entonces el planeta se mueve ácia el polo elevado para nosotros: y el nodo C, por donde el planeta pasa para volver á la parte austral de la ecliptica, *nodo descendente*. El primer nodo se señala de este modo ☊, y el otro asi ☋.

260 La distancia AB del astro á la ecliptica es

es lo que hemos llamado latitud del planeta ; pero se vé, que esta latitud es diferente segun el punto en que se suponga el centro comun de los arcos EA, AB, BE. Si estos arcos tienen su centro en el del Sol, la latitud AB es la que se observaría desde el centro del Sol, y entonces se llama *latitud heliocéntrica* : y si el centro de la Tierra es tambien el de aquellos arcos, la latitud del planeta AB es la que se observaría desde el centro de la Tierra, y entonces se llama *latitud geocéntrica.* El ángulo esférico AEB, ó ángulo que forman los planos de la orbita del planeta y de la ecliptica, se llama *inclinacion de la orbita.*

261 El arco AE de la orbita de un planeta visto desde el Sol y contado desde el nodo ascendente de occidente á oriente se llama *argumento de latitud* ; porque de esta cantidad depende la latitud, como manifiesta la figura. La latitud de los planetas es boreal en los seis primeros signos, y austral quando el argumento excede 180°.

262 Considerando el triángulo AEB, es claro, que con el argumento de latitud AE, el ángulo de inclinacion AEB, la latitud AB, y la distancia BE del planeta al nodo contada en la ecliptica, pueden hacerse las mismas operaciones que con los datos semejantes de la ecliptica y equador (197 y

 si-

siguientes). La diferencia que por estos cálculos se encuentra entre el argumento de latitud AE y arco BE de la ecliptica se llama *reduccion á la ecliptica.*

263 Sentados estos principios, exâminémos ahora las complicaciones que resultan de la posicion del observador en el centro de la Tierra. Sea S el Sol, TAB la ecliptica con su plano representado por el del papel, CDGEF la orbita de un planeta cuyo plano corta el de la ecliptica segun la línea DEB: y concíbase, que la porcion DFE está elevada sobre el plano de la figura, y la porcion DGE debaxo. Al llegar el planeta al punto D de su orbita, se halla tambien en el plano de la ecliptica; pero saliendo de este punto, que es el nodo ascendente, para describir la parte superior DFE de la orbita, su distancia al plano de la ecliptica ABT vá en aumento y llega á su máxîmo en el punto H, que es el mas elevado de DFHE. Este punto mas distante de la orbita, al norte de la ecliptica y á 90° de cada nodo, es el que se llama *límite boreal del planeta.*

Fig. 39.

Pasado el límite boreal, el planeta desciende aproxîmándose al plano de la ecliptica, y atravesándolo por el nodo descendente E corre la parte inferior de su orbita EGD, en la qual llega á su máxîma distancia de la ecliptica en otro punto G di-

directamente opuesto á H. El punto G es el *límite del planeta* : y, habiendolo pasado, el planeta vuelve á disminuir su distancia á la ecliptica, hasta llegar otra vez á ella en el nodo ascendente D: donde principia otra revolucion como la precedente.

264 Considerando ahora lo que representa la fig. 39, se vé, que la línea SF es la verdadera distancia del planeta al Sol quando aquel se halla en F, ó su radio vector, la línea SL la misma distancia reducida á la ecliptica (que se llama *distancia acortada*), FT la verdadera distancia del planeta á la Tierra, y LT la distancia acortada del planeta á la Tierra. Siendo FL la perpendicular tirada del planeta F al plano de la ecliptica ATB, es claro, que el ángulo FSL, por el qual se vé desde el Sol esta distancia, es lo que hemos llamado latitud heliocéntrica (260), y el ángulo FTL, por el qual se vé la misma línea desde la Tierra T, la latitud geocéntrica. Del mismo modo, el arco DF ó ángulo DSF es el argumento de latitud, el ángulo DSL la distancia del planeta al nodo reducida al plano de la ecliptica, y la diferencia entre DSF, y DSL la reduccion á la ecliptica (262).

265 Las longitudes de los planetas participan de diferencias semejantes á las de aquellos términos, y se distinguen como la latitud en *geocéntrica*

y

y *heliocentrica.* Tirando la recta SK paralela á TL, es claro, que la direccion SK prolongada señalará en el Cielo el mismo punto que la TL, y por consiguiente la misma longitud ó distancia al punto equinoccial de ♈, esto es, la longitud en que se vé el planeta desde la Tierra. Y siendo, por el paralelismo de KS, y LT, el ángulo SLT igual al KSL, que mide la diferencia entre las longitudes señaladas por KS y SL, que es la del planeta visto desde el Sol, es evidente: que la diferencia entre la longitud geocéntrica y la longitud heliocéntrica es igual al ángulo formado en el plano de la ecliptica por las distancias acortadas del planeta al Sol y á la Tierra.

266 La diferencia entre la latitud geocéntrica y la latitud heliocéntrica se llama *paralaxe de latitud*: del mismo modo que *paralaxe de longitud* la diferencia entre las longitudes heliocéntrica y geocéntrica. Y en general llámase *paralaxe del orbe anual* ó *paralaxe anual* la diferencia entre el verdadero lugar de un astro visto desde el Sol, y su lugar aparente desde la Tierra.

267 Quando el astro F se encuentra en el plano perpendicular á la ecliptica conducido por el radio vector de la Tierra ST, es claro, que el ángulo SLT es nulo (fig. 40) ó se hace de 180°,

(fig.

(fig. 39), y en estos casos se dice que el astro se halla en las *sizigias*. La sizigia que se verifica, hallándose el astro á la misma parte que el Sol respecto á la Tierra se llama *conjuncion* con el Sol, y quando el Sol y planeta corresponden á partes opuestas, la sizigia se llama *oposicion*. Á la inspeccion de las figuras 39 y 40 se percibe, que un planeta solo puede estar en oposicion, quando su orbita contenga la de la Tierra: y que el planeta, cuya orbita esté encerrada en la de la Tierra, verifica sus conjunciones de dos modos diferentes; porque viéndose el Sol y planeta en la misma longitud, puede el planeta hallarse mas allá del Sol ó entre este astro y la Tierra. Estas dos conjunciones se distinguen, llamando *conjuncion superior* á la primera é *inferior* á la segunda. Quando la longitud geocéntrica del Sol y planeta difieren de 90, ó que media un quadrante entre el Sol y el círculo de latitud del astro, se dice que el astro está en *quadratura* con el Sol.

DE LAS APARIENCIAS QUE RESULTAN del movimiento anual de la Tierra.

268 Asi como el actual lugar de un astro determinado desde el centro de la Tierra es diferente de

de aquel en que se le observaría desde el Sól, los lugares en que se halla sucesivamente, ó los movimientos de los planetas, segun aparecen á un observador situado en el centro de la Tierra, no son los que hemos explicado en la primera parte, y están complicados de ciertas desigualdades que proceden de la combinacion de los movimientos del ojo y del objeto.

Fig. 39. 269 Represente TAB la orbita de la Tierra, y FDGE la orbita de Venus ó de Mercurio, contenida en ella. Es claro, que como el movimiento real de los dos astros es en el mismo sentido, quando la Tierra esté en el punto Q, al mismo tiempo que Mercurio en su conjuncion superior en G, el movimiento aparente de Mercurio será, como el verdadero, de occidente á oriente, esto es, de G ácia E. Quando el movimiento del planeta es de este modo segun el orden de los signos, se dice que es *directo*. Supongamos ahora, que estando la Tierra en Q Mercurio se halla en su conjuncion inferior en H; y se verá, que, como el planeta corre de H ácia F con mayor velocidad que la Tierra de Q á T, su movimiento deberá parecernos en sentido contrario al que realmente tiene y observámos ántes. Por lo qual decimos entonces que *retrograda*, aunque esta retrogradacion ó movimiento del planeneta contra el órden de los signos sea solo aparente y dimanada del modo de referir las posiciones de los astros en la esfera.

270 Entre el movimiento directo y el movimiento retrogado hay necesariamente un término medio ó instante, en que el planeta, habiendo cesado de moverse directamente aun no ha principiado á retrogradar , y en tal caso se dice que el planeta está *estacionario*; porque , continuando en corresponder al mismo punto del Cielo por algun tiempo , se halla inmovil en apariencia. Para conocer como se verifican estas estaciones , supongamos que PP' y TT' *Fig.* 41.
son los arcos de sus orbitas que describen en un mismo intervalo de tiempo la Tierra y el planeta; y , tirando las líneas PT y $P'T'$, se percibirá, que, mientras estas líneas sean paralelas , el planeta , aunque realmente continue su movimiento, se verá siempre en el mismo punto del Cielo , y consiguientemente nos parecerá que se halla fixo.

271 En quanto á los planetas superiores , cuyas orbitas contienen la de la Tierra , no tiene duda , que deberán suceder fenómenos semejantes , por que la Tierra es respecto á qualquiera de ellos lo que en el exemplo anterior ha sido Mercurio para nosotros. Quando Marte , Jupiter ó Saturno están en conjuncion , la Tierra vista desde alguno de es-

tos planetas se vería en conjuncion superior, y entonces parecería directa, como debe, por consiguiente, parecernos directo el planeta superior en tál caso. Al contrario, quando el planeta se halla en oposicion, la Tierra está en su conjuncion inferior vista desde el planeta: el movimiento aparente de la Tierra, para un observador situado en el centro del planeta, será entonces retrogrado; y conseqüentemente, el planeta visto desde la Tierra parecería tambien retrogrado. Ultimamente, estando la Tierra vista desde un planeta superior en sus estaciones, este planeta tambien parecerá estacionario observado desde la Tierra.

DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE la posicion del observador en la superficie de la Tierra.

272 Como todos los puntos de la superficie de la Tierra están diferentemente situados, no tiene duda, que de cada uno de ellos deben observarse los astros con distintas apariencias, y que, para despejar los fenómenos de estas desigualdades, es necesario referirlos á un lugar de posicion invariable en que se consideren nulas, sin lo qual no habría unidad de comparacion. Tal es el centro de la Tier-

Tierra, que está igualmente distante de todos los puntos de la superficie; y asi, en el uso de las observaciones de los astros, deberá principiarse por reducirlas á las que se habrían hecho desde aquel punto. Esta reduccion exîge que se averigue la diferencia entre la situacion aparente de un astro, visto desde qualquier punto de la superficie de la Tierra, y el lugar en que lo veríamos, si estuviesemos en el centro de nuestro globo: y esta correccion ó diferencia es lo que se llama *paralaxe diurna*, para distinguirla de la paralaxe anual.

273 La paralaxe, pues, procede en general de nuestro modo de referir las posiciones de los astros, y de que, prescindiendo de su lugar absoluto, las determinámos por los puntos á que aparentemente corresponden en el Cielo: puntos que deben variar, como los del horizonte á que corresponden los objetos terrestres colocados en una llanura, quando están vistos por personas diferentemente situadas.

274 Sea T el centro de la Tierra, L el punto de la superficie en que está el observador, y Z L T la vertical ó línea que pasa por el zenit Z el lugar del observador y el centro de la Tierra T. Suponiendo el astro en A′, no tiene duda, que el observador lo verá á una distancia de su zenit Z igual *Fig. 42.*

al ángulo ZLA′, y que desde el centro de la Tierra el mismo astro se observaría á la distancia ZTA′. Asi, siendo el ángulo ZLA′ igual á ZTA′ mas LA′T, es claro, que la diferencia entre las dos distancias al zenit ZLA′, ZTA′, ó la diferencia de las situaciones referidas al zenit en que se observaría un astro desde el centro de la Tierra y un punto de su superficie, es igual al ángulo LA′T formado por las dos visuales al astro desde uno y otro punto. El ángulo LA′T es, pues, lo que hemos llamado paralaxe del astro.

275 Como las dos visuales LA′ y TA′ están en el plano ZTA′, que es el del vertical del astro, se sigue, que la paralaxe no varía el vertical del astro, y que todo su efecto, exerciéndose en este plano, es hacer mayores las distancias al zenit ó disminuir la altura de los astros sobre el horizonte. Puede, pues, decirse, que el efecto de la paralaxe es todo de arriba abaxo y nulo de un lado á otro, y conseqüentemente, que la paralaxe no altera el azimut de un astro. Asi, en el meridiano, la paralaxe no varía la ascension recta del astro, porque allí el vertical es perpendicular al equador, pero entonces todo el efecto de la paralaxe resulta en la declinacion. Del mismo modo, quando el astro en su revolucion diurna pasa por el punto en que su verti-

tical corta perpendicularmente la ecliptica, la paralaxe es nula en longitud y todo su efecto es en la latitud, porque entonces el vertical es al mismo tiempo el círculo de latitud del astro.

276 El punto de interseccion de la ecliptica y vertical que la es perpendicular se llama el *nonagesimo*; porque, siendo el plano del vertical perpendicular al mismo tiempo á los de la ecliptica y horizonte, aquel punto se halla a 90° de los dos puntos en que se cortan estos círculos.

277 En el triángulo L A′T (que se llama *parálatico*) se tiene A′T : sen. A′LT (= sen. ZLA′) = LT : sen. LA′T; cuya proporcion demuestra, que, siendo constante la TA′, ó no variando el astro de distancia al centro de la Tierra en el interválo de una rotacion diurna, el seno de la paralaxe LA′T aumenta en la misma razon que el seno de la distancia aparente al zenit ZLA′; y de aqui se sigue, que la máxîma paralaxe debe verificarse quando el seno de ZLA llega á su máxîmo, esto es, quando este seno es igual al radio ó que la distancia aparente del astro al zenit es de 90.° Los astros, pues, llegan á su mayor paralaxe quando se hallan en el punto A del horizonte aparente LA ó plano tangente á la superficie de la Tierra en el lugar del observador; y asi, se llama *paralaxe horizon-*

zontal del astro, para distinguirla de la de altura, que es la que tiene quando el astro está elevado sobre el horizonte. Del mismo modo se vé, que, haciendo en la proporcion antecedente ZLA′ igual á cero, el ángulo LA′T resulta nulo; y que, por consiguiente, la paralaxe de los astros es nula en el zenit: como se hace evidente, atendiendo á que el astro, el observador y el centro de la Tierra están entonces en una misma línea recta.

278 Suponiendo que P, *p* representen los ángulos de la paralaxe quando un mismo astro se halla en diferentes distancias al zenit iguales á *a*, *b*, tendrémos sen. *a*: sen. P=AT : LT, y sen. *b*: sen. *p*=AT′: LT, y por consiguiente sen. *a*: sen. P=sen. *b*: sen. *p*. Asi, sabiendo el valor de la paralaxe de un astro en una distancia al zenit determinada, será facil deducir la paralaxe del mismo astro para qualquier otra.

279 Generalmente se prefiere comparar todas las demás paralaxes á la horizontal, y ésta se averigue por observacion, como despues verémos. Segun este método, haciendo $a=90°$, para que P exprese la paralaxe horizontal, y siendo el radio igual á uno, tendrémos 1 : sen. P = sen. *b*: sen. *p*, y sen. *p*=sen. P×sen. *b*; de lo que resulta, que el seno de la paralaxe de altura es igual al seno de la para-

ra-

ralaxe horizontal multiplicada por el seno de la distancia aparente al zenit.

280 Pero, como la paralaxe horizontal de la Luna, que es la mayor de todas las paralaxes de los planetas, no es mas que de un grado á corta diferencia, los ángulos ó arcos que miden las paralaxes pueden tomarse en lugar de sus correspondientes senos. Por lo que, atendiendo á que la distancia al zenit es el complemento de la altura del astro, sobre el horizonte, y representando por h la altura aparente, la expresion de la paralaxe de altura se reduce á $p = P \times \cos. h$. De donde resulta, por regla general, que la paralaxe de altura es igual á la paralaxe horizontal multiplicada por el coseno de la altura aparente.

281 Los senos de las paralaxes de dos astros que se hallen en A′, y B á la misma altura aparente ó distancia al zenit ZLB están expresados por (277) $\frac{LT \times sen\, ZLA'}{A'T}$, y $\frac{LT \times sen\, ZLB}{BT}$; y por consiguiente, la paralaxe en A′ será á la paralaxe en B como $\frac{LT \times sen\, ZLA'}{A'T}$, á $\frac{LT \times sen\, ZLA'}{BT}$, ó como BT : A′T. De lo que se sigue, que á una misma altura aparente, los senos de las paralaxes de altura están en razon inversa de las distancias de los astros al

al centro de la Tierra. Verdad que tambien se hará evidente, considerando que las paralaxes $LA'T$, LBT' no son otra cosa que los ángulos por los quales se vería desde los astros A', B el semidiámetro terrestre LT (52).

282 Por tanto, y como los diámetros aparentes (52) ó ángulos por los quales se vé el del mismo astro desde el lugar L quando sus distancias varían, están tambien en razon inversa de las mismas distancias, si nombrámos D, D' los diámetros aparentes, y p, p' las correspondientes paralaxes en A' y B, tendrémos $p : p' = D : D'$. Lo que manifiesta, que sea la que fuere su distancia al centro de la Tierra, hay siempre una razon constante entre la paralaxe del astro y su diámetro aparente. Determinada, pues, esta relacion por las observaciones del diámetro y paralaxe horizontal á una distancia qualquiera, será facil en todo tiempo deducir la paralaxe horizontal del diámetro, y recíprocamente. Por exemplo, habiendo hallado una vez, que quando el diámetro aparente de Venus era de $60''$ su paralaxe horizontal era de $30''$, resultará, que la paralaxe horizontal de Venus es siempre la mitad de su diámetro aparente; y, observándolo á qualquier otro tiempo, podrá concluirse por su cantidad la de la actual paralaxe.

Co-

283 Como en el triángulo parálatico LAT rectángulo en A se tiene conocido el radio de la Tierra LT (que comunmente se hace de 1432 leguas francesas de 2283 toesas cada una, ó de 7628264 varas castellanas), si se averigua el valor de la paralaxe, será facil deducir por su resolucion el de la distancia AT del astro al centro de la Tierra. Por donde se vé, que el conocimiento de la paralaxe, no solo importa para determinar por las apariencias de los astros los fenómenos que se observarían si toda la masa de la Tierra se reduxese á un solo punto, sino que es absolutamente preciso para averiguar las distancias á que se hallan los cuerpos celestes de nosotros.

284 El método mas natural y exâcto de los varios que se han imaginado para determinar la paralaxe horizontal de un astro consiste, en observar su situacion aparente al mismo instante desde dos lugares, quando el astro se halla en el plano coincidente con los dos radios terrestres terminados en ellos. Sea CBM un meridiano de la Tierra: y supongamos, que desde dos puntos C, B se observó en el mismo instante la altura meridiana del astro A. En el quadrilátero CABT tendrémos, CAB $=360^\circ-ACT-ABT-CTB$, y siendo ABT $=180^\circ-ABZ$, y $ACT=180^\circ-ACZ'$, CAB *Fig.* 43.

$=ABZ \pm ACZ' - CTB$, el signo + para quando el astro esté entre las verticales de los dos lugares $Z'T$, ZT (fig. 43), y el signo — para quando el astro esté al sur ó norte del zenit de ambos lugares (fig. 44). Así, por las alturas meridianas tomadas al mismo instante desde C, y B, y el valor del ángulo CTB, ó arco CB que mide la diferencia de las latitudes geográficas de aquellos puntos, podrá deducirse el del ángulo CAB formado por las dos visuales, que es igual á la suma ó diferencia de las paralaxes de altura BAT y CAT.

Representémos ahora por x la paralaxe horizontal del astro, y por h, h' las alturas aparentes del mismo observadas en B, y C: es claro, que $TAB = x. \cos. h$, y $CAT = x. \cos. h'$; y que por consiguiente $CAB = x. \cos. h \pm x. \cos. h'$, segun el astro esté ácia la misma ó diferentes partes de las verticales ZT, $Z'T$. De lo que resulta esta proporcion $\cos. h \pm \cos. h' : 1 = CAB : x$, que determina la paralaxe horizontal de un astro por el ángulo CAB observado.

285 Siendo la paralaxe el ángulo por el qual se vería el radio de la Tierra desde el astro, es claro, que no siendo la Tierra exâctamente de figura esférica (336 &c.) la paralaxe debe variar con la
Fig. 45. posicion de los lugares. Sea MLR la curva de un me-

meridiano del esferoide terrestre, y L un punto de su superficie, desde el qual se observa el astro A: se vé, que la paralaxe LAT deberá ser diferente segun sea mayor ó menor el radio LT; y que la perpendicular LB á la superficie terrestre en L, no pasando por el centro T sino en ciertos casos, el plano del vertical LAB en que se le vea no será el mismo que el en que se le vería desde el centro T de la Tierra, á excepcion de los casos de hallarse el astro en el plano del meridiano MLR. Asi, en el esferoide, la paralaxe altera el azimut, del mismo modo que las alturas, declinaciones, ascensiones rectas, latitudes y longitudes de los astros: y estas alteraciones son diferentes, segun los puntos del meridiano MLR en que se observan. En la paralaxe de la Luna, cuya proxîmidad hace considerables estas diferencias, para las operaciones en que, como los cálculos de los eclipses, se requiera su conocimiento exâcto, es necesario, pues, atender, no solo á la actual distancia del astro al centro de la Tierra, sino á la posicion del punto de la superficie en que se halla el observador.

DE LA REFRACCION ASTRONÓMICA.

286 En la explicacion de los fenómenos celestes hemos supuesto, hasta ahora, que los rayos de luz, por los quales vemos los astros, nos los hacen percibir siempre en su verdadero lugar, ó que el rayo de luz, que partiendo del objeto nos hace sensible su presencia, está dirigido, segun la línea recta que actualmente lo une con el ojo. Pero, aunque las experiencias de la Física no dexan duda sobre la propagacion de la luz en línea recta, las mismas experiencias y la teórica de la Dioptrica demuestran: que los rayos de luz, pasando de un medio á otro de diferente naturaleza en direccion obliqua á la superficie de éste, se rompen ó refractan, acercándose ó alejándose de su perpendicular, segun la densidad del nuevo medio es mas ó ménos considerable que la del primero: de modo, que, si el medio en que han entrado [1] es uniformemente denso, los rayos, des-

(1) Siendo (fig. 46) CSD la superficie del nuevo medio que hiere el rayo OS, y PSp una perpendicular á la misma superficie, el rayo, en lugar de continuar segun la OSB, muda de direccion, y desde S sigue la SA sin salir del plano OSP: de modo, que el seno del ángulo de incidencia OSP $=p$SB, y el seno del ángulo de refraccion pSA están en una ra-

despues de formar un ángulo con su anterior direccion, siguen constantemente la nueva que han tomado: direccion que, con la primitiva, determina un plano perpendicular á la superficie exterior del nuevo medio. Sea BLC la superficie de la Tierra, MSF la superficie exterior de la atmósfera que circunda la Tierra, y AD un rayo de luz, que, partiendo del astro A, entra obliqüamente en la atmósfera. Este rayo, al encontrarla debe padecer una refraccion, que le hará variar de direccion, acercándose á la perpendicular á MF, ó radio DT: y el rayo continuaría en la misma, si el medio de la atmósfera fuese uniforme. Pero, como la densidad de la atmósfera crece con la disminucion de la distancia á la superficie de la Tierra, es claro, por el principio de Dioptrica apuntado, que el rayo de luz, encontrando continuamente una capa de fluido mas denso que el anterior de donde viene, ha de inclinarse á cada grado de su progreso de una cierta cantidad ácia la perpendicular á la superficie de la capa actual, ó lo que es lo mismo, á la de la superficie de la Tierra que la es concéntrica, formando, en su tránsito hasta ella, una curva D*abc*L, con *Fig. 47.*

razon constante. En el pasage del aire al vidrio, esta razon es la de 3 á 2, ó mas exâctamente la de 31 á 20.

con su concavidad vuelta ácia el centro de la Tierra T. Esta curva, que se llama *solar ó de refraccion*, está, pues, situada en el plano vertical, porque, como hemos visto, sus pequeños arcos no han hecho mas que acercarse sucesivamente á la perpendicular á la superficie del globo: su largo depende del espacio que tiene que correr, para atravesar la atmósfera, y su curvatura de la densidad de las diferentes capas que pasan los rayos de luz y de la obliqüidad del ángulo con que insisten en ellas para penetrarlas.

287 Como el espectador percibe los objetos por la impresion que los rayos de luz hacen en su ojo, y que, por consiguiente, los juzga en la direccion de esta impresion, es claro, que, si el rayo que partió del astro A caminó segun la curva D*abc*L, la impresion que recibirá el observador en L será segun la última direccion del rayo, esto es, segun el arco infinitamente pequeño L*c*. Por esta razon, pues, el observador no podrá ménos de percibir el astro por la direccion de la tangente L*c*A′ á la curva de refraccion, en el último punto de la rama que se termína en su ojo; y la situacion aparente del astro, quedará alterada de una corta cantidad, que se llama *refraccion astronómica*.

288 De lo dicho resulta, que no alterando el

el vertical del astro, todo el efecto de la refraccion es en altura, y consiste en hacer parecer los astros mas próximos al zenit ó elevados sobre el horizonte de lo que lo están realmente: ilusion que se desvanece en el zenit; porque los rayos de luz procedentes de los astros que están en aquel punto, insistiendo perpendicularmente en la superficie de la atmósfera, no padecen refraccion alguna.

289 Como la refraccion, elevando los astros en sus verticales, los hace parecer mas próximos al zenit, que es el punto del concurso de todos, no tiene duda, que, por un efecto de la refraccion, el arco de la distancia aparente de dos astros es siempre menor que el arco de su distancia verdadera. El cálculo de esta diferencia, complicada con la contraria de la paralaxe, es necesario, para hallar la longitud en la mar, por la observacion de las distancias aparentes de la Luna al Sol y estrellas.

290 Dependiendo la refraccion de la masa de aire que el rayo de luz tiene que atravesar ántes de llegar al ojo, y del ángulo de su incidencia en la superficie exterior del fluido, y siendo por el volumen de la atmósfera, la distancia de este pasage mayor al paso que la entrada del rayo es mas oblíqüa al horizonte, ó que el astro está mas lejos del zenit, es claro, que la refraccion del astro debe ser

tan-

tanto mayor, esto es, la diferencia entre la altura verdadera y la altura aparente de un astro tanto mas considerable, quanto el astro esté ménos elevado sobre el horizonte. Por consiguiente, las refracciones del mismo astro serán diferentes á diversas alturas, y todos los astros, en igualdad de circunstancias, tendrán la misma refraccion á igual altura.

291 Como el efecto de la refraccion es aumentar la elevacion aparente de los astros, se vé igualmente, que, quando los astros parecen en el horizonte, realmente se hallan debaxo de este plano; y que, por consequencia, los astros á nuestra vista salen mas temprano y se ponen mas tarde de lo que deberian en virtud de las leyes del movimiento diurno de la Tierra.

292 La refraccion, como se vé, altera las situaciones de los astros en el mismo plano que la paralaxe: ambas cantidades son nulas en el zenit y llegan á su máximo en el horizonte, pero obrando siempre en sentido opuesto, porque la refraccion aproxima el lugar aparente del astro al zenit, quando la paralaxe lo acerca al horizonte. Para despejar, pues, la posicion aparente de un astro de los efectos de la refraccion y paralaxe, podrá emplearse la diferencia entre ambas cantidades, lo mismo que una

una de ellas sola, atendiendo en la aplicacion al signo que deba tener el resultado, ó al sentido en que la diferencia altera la verdadera situacion del astro.

293 La cantidad absoluta de la refraccion se determina por observacion de varios modos, y todos consisten en averiguar lo que esta causa altera un arco celeste, cuyo valor se conoce exàctamente con independencia de esta ilusion. Pero como la refraccion es la diferencia entre la altura aparente y la altura verdadera del astro, se vé, que el método mas natural para determinarla es el de calcular la segunda para el momento en que se observó la otra. En este método se emplean con ventaja las alturas correspondientes de los astros, observadas con instrumentos muy exàctos, hallando por un buen pendulo los ángulos horarios á los instantes de tomarlas; pues, suponiendo conocidas las distancias del astro al polo y del polo al zenit, libres del efecto de las refracciones, y calculando (178) la altura verdadera del astro, su diferencia á la observada dará la cantidad en que la refraccion lo hizo parecer mas elevado. Asi, si habiendo observado, por exemplo, el Sol á 40° de altura aparente, se halla por el cálculo de los ángulos horarios, que su verdadera altura en aquellos instantes, era realmente de 39°

58′ 50″, se inferirá, que la refraccion en esta elevacion es igual á 1′ 10″.

294 Como de la comparacion de las observaciones hechas resulta, que, desde los 20° de altura para arriba, las refracciones siguen sensiblemente la ley de las tangentes de las distancias al zenit, Mr. la Caille empleó el siguiente método, que prescribe como el mas propio de que un solo observador puede hacer uso, para determinar las refracciones. Despues de establecer la altura aparente del polo, por un gran número de observaciones de las estrellas circumpolares, es necesario hallar la altura aparente del equador, por medio de la altura meridiana del Sol próxîmo al equinoccio comparada con la declinacion del Sol, que debe deducirse de su ascension recta observada el mismo dia, por alguna estrella bien conocida. Executado esto, como la refraccion aumenta al mismo tiempo la altura aparente del polo y la del equador, la suma de las alturas debe ser mayor de 90°, y el exceso igual á la suma de las dos refracciones: cantidad que es preciso dividir en razon de las tangentes de las distancias aparentes al zenit, para tener el efecto que á cada una pertenece.

Habiendo determinado, por este medio, la refraccion que corresponde á la altura aparente del

po-

polo, y concluido, por consequencia, la altura verdadera, debe observarse la altura meridiana de una estrella que pase muy próxîma al zenit, donde la refraccion es nula, y de aquí resultará su verdadera inclinacion. Con lo qual, y observando despues sus diferentes alturas aparentes, será facil calcular exâctamente la cantidad de la refraccion, como ya hemos explicado (293).

295 Las refracciones astronómicas pueden así determinarse por observacion en todo caso; pero como su cantidad depende de la naturaleza de la curva de refraccion, varios geómetras se han aplicado á conocerla, para hallar la relacion que tienen los ángulos formados por sus tangentes y la vertical con las verdaderas distancias al zenit. La exâctitud de la resolucion de este problema físico-matemático tiene por basa el acierto de la hipótesis que se adopte sobre la ley que observan las fuerzas atractivas residentes en las diferentes capas de la atmósfera, para encorvar sucesivamente la direccion del rayo de luz. Por las experiencias físicas consta, que la densidad del aire que nos circunda aumenta en progresion geométrica con la proxîmidad á la superficie de la Tierra; y asi, era de creer, que atribuyendo la misma ley á sus fuerzas atractivas sobre las moleculas de la luz, los resultados de la teórica fuesen exâctamente con-

formes á las refracciones observadas. Sin embargo, exâminadas esta y otras hipótesis, resulta, que la sola admisible, para representar con suficiente exâctitud el efecto de las refracciones, supone que la fuerza atractiva de las capas de la atmósfera crece siguiendo una progresion aritmética: de modo, que el rayo de luz experimenta siempre la misma nueva fuerza, al pasar de una capa á la siguiente. Por este principio se demuestra la regla de Bradley, cuya sencillez y precision la han hecho preferible á todas las demás para expresar y calcular las refracciones correspondientes á los intervâlos que dexan vacíos las observadas: y, segun esta regla, la réfraccion es como la tangente de la distancia al zenit, disminuida del triple de la refraccion.

296 Esta regla, que se verifica lo mismo en las alturas grandes que en las cortas, puede simplificarse, quando las elevaciones sobre el horizonte son mayores que 20°; porque entonces, las tangentes de las distancias simples tienen entre sí sensiblemente la misma relacion que las de las propias distancias disminuidas del triple de la refraccion. Dentro de estos límites, pues, las refracciones son como las simples tangentes de las distancias al zenit, ó como las cotangentes de las alturas.

297 Siendo el fluido que circunda nuestro glo-

globo la causa del fenómeno de que tratamos, se ocurre facilmente, que la cantidad de la refraccion, lejos de ser constante, no puede ménos de experimentar continuas vicisitudes, procedentes de las que acaecen en la atmósfera. Asi, se ha notado, que las refracciones son mayores en los terrenos baxos que en los elevados, en las demás zonas que en la torrida, en el invierno que en el verano, en la noche que en el dia, y aun en la mañana que en la tarde. Las variedades del peso y calor del aire contribuyen á producir estas desigualdades, que obligan, para tener con exâctitud la refraccion en un tiempo determinado, á atender al actual estado de estas dos cosas, que se miden por las elevaciones del Barómetro y Termómetro. Las experiencias de Lowthorp, hechas en el año de 1699 y repetidas despues por otros Físicos, demúestran que la refraccion producida por un aire condensado, y de peso doble, triple &c. es tambien doble, triple &c.; de lo que resulta, que, midiendo el Barómetro el peso de la columna superior de aire, las variedades de la refraccion deben ser proporcionales á las que ocurran en las alturas del mercurio; y que, por consiguiente, estableciendo un término en el Barómetro para contar en él las refracciones medias, todas las demás podrán deducirse de esta, por una sim-

simple regla de tres. Asi, fixando, por exemplo, el término de las refracciones medias en 28 pulgadas, quando el mercurio haya baxado á 27, se sabrá que la refraccion correspondiente es igual á $\frac{27}{28}$ de la media, ó que la refraccion media debe disminuirse de $\frac{1}{28}$ para tener la refraccion actual: cantidad que, al contrario, debería añadirse á la refraccion media si el mercurio ascendiese á 29 pulgadas, para tener la refraccion correspondiente.

298 Para averiguar la ley de los efectos que resultan en las refracciones, por los diversos grados de dilatacion y condensacion que el calor produce en el fluido de la atmósfera, se ha recurrido á la experiencia. Y Mr. de la Caille ha hallado, que las refracciones disminuyen de $\frac{1}{27}$, quando la columna del mercurio varía de 10^{o} en el Termómetro de Reaumur, tomando el término de la refraccion media á 10^{o} sobre la congelacion en este Termómetro, ó á $54^{o}\frac{1}{2}$ en el de Farenheit.

Otros Físicos adoptan la siguiente regla, que resulta de las experiencias del Doctor Bradley, y es muy simple. La altura del Termómetro de Farenheit, aumentada de 350, es á 400: como la refraccion media, á la refraccion corregida.

299 Las tablas de estas correcciones, como las construidas por Mr. la Caille por sus propias in-

investigaciones y las de Mr. Mayer, proporcionan un medio facil de reducir todas las observaciones hechas en un aire de diferente densidad y peso á las que se habrian executado en el mismo temperamento. Estas tablas dán, aunque con alguna corta incertidumbre, procedente de los elementos empleados en su construccion, las variaciones que convienen con las del Termómetro y Barómetro; y asi, siempre que la cantidad de la refraccion sea de influxo considerable para los resultados de las operaciones en que entra, deberá atenderse al estado de aquellos instrumentos, para deducir por su medio la correccion que corresponda.

300 Además de las variedades regulares de las refracciones, que proceden de las dos causas indicadas, hay otras irregulares, que, teniendo su orígen en circunstancias occidentales ó locales, no pueden sujetarse al cálculo. De este número son los vapores de que está cargada la parte inferior de nuestra atmósfera, compuestos de las partículas que emanan de casi todos los cuerpos que constituyen parte de nuestro globo, el humo que despiden los fuegos de los campos y los pueblos, la humedad ó sequedad del aire, la situacion de los lugares en las proxîmidades de montañas, bosques, terrenos áridos, rios, ciudades &c. El número y naturaleza de

de estas circunstancias manifiestan á primera vista, quan considerables son las alteraciones que pueden ocasionar en las refracciones de las proxîmidades al horizonte; y, por consiguiente, la necesidad de que el Astrónomo, para sacar mas fruto de sus observaciones, evite en lo posible practicarlas quando los astros se hallen á ménos de 10° de altura.

301 La accion de la atmósfera terrestre en los rayos de luz es causa de varios fenómenos que proceden, tanto de sus ilusiones sobre las situaciones de los astros, como de la dispersion y reflexîon que experimentan los rayos al atravesarla. De este número es el efecto de la refraccion que hace parecer el disco del Sol ó Luna como un ovalo, quando su margen inferior toca el horizonte. Siendo la cantidad de la refraccion que acerca el lugar aparente de este margen al zenit, menor que la que eleva el margen superior, el diámetro aparente vertical del Sol ó Luna queda disminuido de la diferencia de los dos efectos; y su figura parece, por consiguiente, una especie de elipse, cuyo exe mayor es el diámetro del astro paralelo al horizonte.

302 Pero el fenómeno mas notable de los de esta clase es el crepusculo ó aurora. Hallándose el Sol debaxo del horizonte de un lugar, á corta distancia de este plano, los rayos de luz que entran

en

en la parte de la atmósfera vecina, se esparcen por la refraccion y reflexîon que en ella experimentan, y llegan al lugar en suficiente cantidad para hacer visibles los objetos terrestres, é impedir que se distingan los celestes. Segun la calidad de su luz, los astros necesitán de mas ó ménos obscuridad, para hacernos sensible su presencia; y asi, al paso que el Sol aumenta su distancia debaxo del horizonte, se ván distinguiendo varios astros que no podian percibirse ántes: hasta que, llegando á 18° debaxo del horizonte, se vén, sin auxîlio de anteojos, las estrellas mas pequeñas. Estos 18° señalan lo que se llama *depresion del circulo crepusculár*, que termina los límites de la noche; pero, se vé desde luego, que esta cantidad media no puede convenir á todos tiempos y paises. En el párrafo *186* hemos îndicado el método de calcular el tiempo del crepusculo para un lugar determinado.

ELEMENTOS DE LA TEÓRICA del movimiento aparente del Sol ó real de la Tierra.

303 Las diversas ilusiones que acabamos de explicar son otras tantas dificultades, contra las quales tiene que luchar el Astrónomo incesántemen-

te, para llegar á calcular las verdaderas situaciones relativas en que se verían los astros, desde un punto determinado del universo. Asi, el despejar las observaciones de estos efectos, descubriendo el origen de los errores, ha sido la obra de muchos siglos y del trabajo seguido de muchos grandes hombres; y, por consiguiente, el Astrónomo, á quien la experiencia debe tener en perpetua desconfianza, no ménos de sí mismo, que de todo lo que le rodea, buscará siempre la verdad, procurando abrirse camino, por medio de los errores conocidos. Para establecer, pues, la teórica del verdadero movimiento de los planetas, principiará, por libertar las observaciones de los efectos de dichas ilusiones; y, suponiendo que, con esto, las situaciones de los astros, que se tienen, sean las verdaderas en que les habria visto desde el centro de la Tierra, veamos el método que puede servir para descubrir las leyes de sus movimientos.

304 En la primera parte hemos explicado el método de establecer la teórica de los planetas vistos desde el centro del Sol, y se hecha de vér, que lo mismo podrá executarse, por observaciones referidas al centro de la Tierra, siempre que haya medio de averiguar la diferencia de las situaciones aparentes desde uno y otro punto. Para esto es necesario esta-

tablecer, ántes de todo, la teórica del movimiento aparente del Sol ó verdadero de la Tierra. Y, debiendo entrar por este principio, es claro, que, entre todos los planos que pueden elegirse, para fixar las posiciones de los astros, ninguno es preferible al de la ecliptica; pues, no apartándose de las visuales del centro del Sol al de la Tierra, está, por consiguiente, ménos sujeto que todos los demás á las ilusiones opticas.

305 Para determinar con exâctitud las posiciones de los astros en el Cielo, los Astrónomos prefieren actualmente el método de observar sus diferencias en ascension recta con una estrella elegida, y su declinacion por su altura meridiana, ó por su diferencia de declinacion con la misma estrella ú otra (239, 240): calculando, despues, la longitud y latitud correspondientes á la ascension recta y declinacion determinada de este modo (198). Pero como el Sol, hallándose siempre en la ecliptica, carece de latitud sensible, basta observar su ascension recta, para calcular su longitud, y, conseqüentemente, los momentos de sus pasages por todos los puntos de su orbita. Así, el método mas seguro, para tener el tiempo de la revolucion anual del Sol, consiste en determinar, por observacion, dos instantes en los quales se haya hallado precisa-

mente en la misma posicion relativa con una misma estrella; pues, habiéndose verificado entre uno y otro un gran número conocido de revoluciones, el intervalo dividido por este número dará el tiempo correspondiente á cada revolucion anual.

306 Por exemplo: por un medio entre las observaciones hechas en París por Mr. de la Hire el 27, 29 y 30 de Junio de 1684, la longitud del Sol era menor que la de Sirio de $1^{\circ}\,21'\,59''$, el 29 de Junio á $0^{h}\,2'\,50''$ tiempo medio: y por un medio tomado entre las observaciones hechas en el cabo de Buena esperanza por Mr. de la Caille el 28, y 30 de Junio de 1751, la longitud del Sol era tambien menor que la de Sirio de $2^{\circ}\,30'\,2''$, el 30 de Junio á $0^{h}\,2'\,56''$ de tiempo medio en el cabo de Buena esperanza, ó lo que es lo mismo, el 29 de Junio á $22^{h}\,58'\,16''$ en París. Siendo el movimiento del Sol entonces de $57'\,12''$ cada $24^{h}\,0'\,12''$ de tiempo medio, resulta $1^{d}\,4^{h}\,33'\,21''$ por el intervalo que el Sol empleó en correr la diferencia $1^{\circ}\,8'\,3''$ entre ambas longitudes. Asi, el 1 de Julio de 1751 á $3^{h}\,31'\,37''$ tiempo medio en París, el Sol habia vuelto á la misma posicion en que estuvo el 29 de Junio de 1684 á $0^{h}\,2'\,50''$, respecto á Sirio: y el intervalo de tiempo entre las dos observaciones 24472 dias $3^{h}\,28'\,47''$, dividi-

dído por 67, dá $365^{d}\ 6^{h}\ 8'\ 29''\ 31'''$ por la revolucion anual del Sol.

307 Comparando, sin embargo, el Sol á una estrella, por observaciones hechas en diferentes estaciones, esto es, en diferentes puntos de la orbita del Sol, se notó, que los intervalos resultantes diferian entre sí, como si el tiempo de la revolucion anual fuese variable. Por exemplo: comparando las observaciones correspondientes hechas en Mayo, Junio, Julio y Agosto, las revoluciones halladas eran constantemente mas breves, que las deducidas por observaciones hechas en Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero: de modo, que de todas las observaciones, solo los resultados de las hechas á fines de Marzo ó principios de Abril se conformaban con los de las executadas al fin de Septiembre ó principios de Octubre: y, como su constancia impedia atribuirlas á los pequeños inevitables errores de la práctica de las observaciones, no pudo ménos de considerarse la teórica del Sol como el verdadero origen de las desigualdades.

308 Estas desigualdades de las revoluciones prueban, que la velocidad del Sol no es la misma quando vuelve al mismo punto; y de aqui resulta, que las distancias á la Tierra, al corresponder al mismo punto del Cielo, varía en diferentes revolu-

luciones (57), y que la línea de las apsidas tiene un movimiento, por el qual la anomalia que se verifica en un punto del Cielo no es siempre la misma. En efecto: si habiendo observado el Sol en un punto coincidente con su *apogéo* (así se distingue la posicion del Sol en la apsida superior ó afelio de la Tierra, como tambien se dice *perigéo* en la apsida inferior ó perihelio), se halla, que, al completar una revolucion respecto á las estrellas, el apogéo ya ha variado alejándose en el sentido del movimiento del astro, es facil percibir, que el Sol debe tener en este punto mas velocidad que la que le corresponde en su apogéo; y que, por consiguiente, deberá llegar á el mas pronto que si el apogéo hubiese continuado inmovil. En este caso, el tiempo de la revolucion debe disminuir de una cierta diferencia, que sería en sentido opuesto, si el apogéo hubiera retrogradado, en vez de adelantar segun el órden de los signos, ó si las observaciones se hubieran hecho en el punto del perigéo. Los resultados de las observaciones, pues, demuestran, que la línea de las apsidas del Sol tienen un movimiento segun el órden de los signos, conforme á los principios de la atraccion indicados (99).

309 Atendiendo á las desigualdade procedentes de esta causa, es claro, que, entre todas las ob-

observaciones, las mas propias, para determinar el tiempo de la revolucion anual, son las executadas ácia los puntos de sus distancias medias. El mismo objeto se llena, tomando un medio entre dos revoluciones, deducidas de observaciones hechas en el mismo intervälo de tiempo y en dos puntos opuestos, como por exemplo, en el apogéo y perigéo: y este método tiene la ventaja de ser en la práctica mas seguro, porque la uniformidad del movimiento del Sol, durante muchos dias en las proximidades de sus apsidas, facilita la reduccion de las observaciones hechas en un dia, á las que se habrian hecho dos ó tres dias despues ó ántes. Esta revolucion, por la qual el Sol vuelve á la misma situacion respecto á las estrellas, se llama *año* ó *revolucion sidérea*: y es, segun Mr. de la Caille de $365^d\ 6^h\ 9'\ 9''\ 48'''$, y segun Mr. de la Lande $365^d\ 6^h\ 9'\ 11''$.

310 Pero, comparando los intervälos de tiempo que el Sol gasta en volver al mismo equinoccio ó al mismo solsticio, esto es, al mismo punto de la ecliptica, no solamente se hallan las revoluciones del Sol desiguales en los diferentes tiempos del año, sino tambien mas cortas que la sidérea. Para determinar esta diferencia, libre de las desigualdades del movimiento del apogéo, es claro, que las observaciones que se empleen deben ser hechas, ó en un mis-

mismo punto ácia las distancias medías, ó en dos puntos opuestos, como son los de los equinoccios ó solsticios de los mismos años. El exemplo siguiente, hecho segun el primer método, manifestará claramente el modo de proceder en estas operaciones.

El 28 de Marzo de 1657 á $0^h\ 5'\ 1''$ tiempo medio, Mr. Cassini observó en el gran gnomón de S. Petronio de Bolonia la altura aparente del centro del Sol de $48°\ 46'\ 43''$, y por consiguiente, despejándola de refraccion y paralaxe, la verdadera de $48°\ 45'\ 52''$. Restando de esta altura $45°\ 30'\ 40''$ que es la del equador, resulta $3°\ 15'\ 12''$ por la declinacion boreal del Sol, á la qual corresponde la longitud de $8°\ 11'\ 16''$, que, despejada de las desigualdades periódicas procedentes de la accion de los planetas sobre la Tierra, se reduce á $8°\ 11'\ 3''$. El instante de esta observacion corresponde en el meridiano de París al 27 de Marzo de 1657 á $23^h\ 28'\ 56''$ tiempo medio. El año de 1760 Mr. de la Caille, halló que el 28 de Marzo á $0^h\ 5'\ 1''$ tiempo medio en el Colegio Mazarino, la altura aparente del centro del Sol era de $44°\ 26'\ 26''$, y por consiguiente la verdadera de $44°\ 25'\ 25''\frac{1}{2}$. Restando de esta cantidad la altura del equador $41°\ 8'\ 30''\frac{1}{2}$, queda la declinacion boreal del Sol entonces igual á $3°\ 16'\ 55''$; por donde se infiere su su longitud al mismo tiempo de $8^s\ 15'\ 51''$, que, se reduce como ántes, á $8^s\ 15'\ 42''$. La diferencia entre estas dos posiciones observadas es igual á $4'\ 39''$, que el Sol debió correr en $1^h\ 53'\ 15''$, á razon de $59'\ 8'',3$ diarios: y de esto se sigue, que el 27 de Marzo de 1760 á $22^h\ 11'\ 46''$, y el 27 de Marzo de 1657 á $23^h\ 28'\ 56''$ tiempo medio, el Sol estuvo en la misma posicion respecto á los puntos equinocciales. El intervalo $37619^d\ 22^h\ 42'\ 50''$, dividido por 103, manifiesta, pues, que la revolucion anual del Sol respecto al punto equinoccial de Aries consta de 365 dias $5^h\ 48'\ 48''$.

311 Esta revolucion, que se llama *tropica*, determina la renovacion de las estaciones del año, y es la mas propia para arreglar los tiempos en el orden civil. Por la misma razon conviene hacer uso de ella en los cálculos astronómicos, aunque la revolucion sidérea sea la mas natural de todas, atendiendo á las diferencias caracteristicas de estas dos revoluciones, y suponer que los 360° de la ecliptica corresponden al intervalo de tiempo de que consta la revolucion tropica.

312 La duracion de esta revolucion ó año tropico es algo diferente segun los cálculos de cada Astrónomo; porque, todas las observaciones combina-

nadas, no dán los mismos resultados. Así, el año es segun:

Mr. Newton de	365^d	5^h	$48'$	$57''\frac{1}{2}$	
Mr. Halley de	365	5	48	54,8	
Mr. Machin de	365	5	48	51	$36'''$
Mr. Cassini de	365	5	48	52,4	
Mr. Mayer de	365	5	48	51	
Mr. la Caille de	365	5	48	49	

y por último, Mr. de la Lande, en una extensa Memoria que en 1781 ganó el prémio de la Academia de Copenhague, cree haber probado incontestablemente, que el año solar es realmente de 365^d $5^h\ 48'\ 48''$.

313 Quedando demostrado, que la vuelta del Sol al mismo punto de la ecliptica se concluye ántes que su revolucion respecto á las estrellas, es claro, que los puntos equinocciales y solsticiales tienen un movimiento retrogrado respecto al Sol, que es de unos $50''\frac{1}{3}$ cada año. Por esta razon, contando las ascensiones rectas y longitudes desde el punto equinoccial de Aries, el Sol parece haber pasado por todos los puntos de la circunferencia de la ecliptica, mientras realmente solo ha corrido $359°$ $59'\ 9''\frac{2}{3}$ de este círculo. Este movimiento de los puntos equinocciales se llama *precesion de los equinoccios*, y procede de una causa física que indicarémos (431).

Co-

314 Como la línea de las apsidas tiene un movimiento segun el órden de los signos, ademas de los años tropico y sidéreo, se distingue una tercera revolucion, que se llama *anomalística*, y consiste en la vuelta del Sol á la misma apsida. Esta revolucion es segun las Lecciones de Mr. la Caille de $365^d\ 6^h\ 15'\ 46''$.

315 Los elementos de la orbita del Sol pueden determinarse, como las de todos los planetas, por los métodos explicados en la primera parte desde el párrafo 77 en adelante. Para averiguar, por exemplo, la posicion de la línea de las apsidas, y la época de un pasage del Sol por el apogéo, deberá procederse del siguiente modo.

De las observaciones hechas por Mr. de la Caille en el cabo de Buena esperanza el año de 1751, comparando el Sol á Syrio, resulta, que:

El 30 de Junio á $0^h\ 2'\ 55''$ t. m., la longitud del Sol era.	3^s	8^o	$9'$	$2''$
El 30 de Diciembre á $0^h\ 3'$ t. m., la longitud del Sol era.	9	8	30	5
Diferencia en longitud.	6	0	21	3
Intervalo entre las dos observaciones.	183^d	0^h	$0'$	$5''$

En el tiempo de la mitad de su revolucion anomalística, el Sol describe $180^o\ 0'\ 33''$; y, restado del movimiento en longitud $6^s\ 0^o\ 21'\ 3''$, re-

 sul-

sulta $20' \, 30''$. Pero el Sol corrió esta diferencia en $8^h \, 36' \, 13''$, á razon de $57' \, 12''$ por dia; luego el 30 de Junio á $8^h \, 39' \, 8''$, el Sol estaba á $180^\circ \, 0' \, 33''$ del lugar en que se le observó el 30 de Diciembre á $0^h \, 3' \, 0''$, esto es, que estos dos lugares distaban entre sí de la mitad de los grados de una revolucion anomalistica. Por esto, siendo el intervalo entre los dos instantes de $182^d \, 15^h \, 23' \, 52''$, excedente en $15' \, 59''$ á los $182^d \, 15^h \, 7' \, 53''$ de que consta una semirevolucion anomalistica, se vé, que el 30 de Junio á $8^h \, 39' \, 8''$ el Sol aun no habia llegado á su apogéo; y asi, deberá hacerse [1]: $4' \, 0''$, diferencia entre las velocidades diurnas del Sol en apogéo y perigéo, á $57' \, 12''$, velocidad diurna en el apogéo: como $15' \, 59''$, á $3^h \, 48' \, 34''$, tiempo que le faltaba al Sol el 30 de Junio, para lle-

(1) El fundamento de esta proporcion se percibe facilmente. Sea (fig. 16) N M la linea que une dos lugares opuestos de la orbita de la Tierra, ó de qualquier otro planeta visto desde el Sol: y supongase, que estos dos lugares están muy próximos á la linea de las apsidas A S B. Expresando por V, V' las velocidades angulares en A y B, se vé que, como estas son sensiblemente uniformes entonces, los tiempos T, T' empleados por el planeta en correr los espacios angulares iguales A S N, M S B deben estár en razon inversa de las velocidades correspondientes V, V'; y que, por consiguiente, $T' : T = V : V'$, y $T' - T : T = V - V' : V'$.

llegar á su apogéo. El Sol, pues, llegó á este punto el 30 de Junio de 1751 á $12^h\ 27'\ 42''$ en el cabo de Buena esperanza, ó á $11^h\ 23'\ 2''$ de tiempo medio en París: estando entonces en $3^s\ 8^\circ\ 38'\ 44''$, que es por consiguiente, el lugar del apogéo del Sol para el fin de Junio de 1751.

316 La máxima equacion del centro del Sol puede igualmente inferirse (82) de las siguientes observaciones, tambien executadas por Mr. de la Caille en el cabo de Buena esperanza.

En 1751 el 30 de Septiembre á $23^h\ 49'\ 44''$ t. m. la longitud del Sol era.	6^s	7°	$51'$	$49''\frac{1}{2}$
En 1752 el 28 de Marzo á $0^h\ 5'\ 2''$ t. m., la longitud del Sol era.	0	8	9	$25\frac{1}{2}$
Movimiento verdadero del Sol en longitud. . .	6	0	17	36
Interválo entre las observaciones.	179^d	0^h	$15'$	$18''$

Adoptando, con Mr. de la Caille, la revolucion tropica del Sol de $365^d\ 5^h\ 48'\ 48''$, se hará para calcular el movimiento medio del Sol correspondiente al interválo entre las dos observaciones: $365^d\ 5^h\ 48'\ 48''$, á 360°: como $179^d\ 0^h\ 15'\ 18''$, al quarto término, que es el movimiento buscado. El movimiento medio en longitud es, pues, de $176^\circ\ 26'\ 29''$, que restado del observado, dá $3^\circ\ 51'\ 7''$; cuya mitad $1^\circ\ 55'\ 33''\frac{1}{2}$ es la mayor equacion de la orbita solar: á la qual debe, no obstante, añadirdirse $1''$, porque el 28 de Marzo el Sol estaba á poco mas de un grado del punto de su distancia media.

317 Esta cantidad de la máxima equacion no está, sin embargo, tan libre de incertidumbre, que todos los Astrónomos se conformen con la misma. Segun Mr. Halley la mayor equacion del centro del Sol es de $1^\circ\ 56'\ 20''$, segun Mr. Cassini no es mas que de $1^\circ\ 55'\ 51''$, y Mr. de la Lande la reduce á $1^\circ\ 55'\ 31'',6$.

318 La excentricidad se infiere de la máxima equacion observada arriba, por el método explicado (85). El diámetro en grados es igual á $114^\circ\ 35'\ 29'',6$; y asi, haciendo: $114^\circ\ 35'\ 29'',6 : 1 = 1^\circ\ 55'\ 34'',5 : x$, se tendrá la excentricidad x igual á 0,016809, tomando por unidad la distancia media del Sol á la Tierra.

Haciendo la distancia media igual á 100000 partes, la excentricidad será entonces de 1680,9; pero en este caso, la excentricidad consta, segun Mr. de la Lande, de 1680,207.

319 Determinados de este modo los elementos de la orbita terrestre, pueden calcularse todas sus proporciones; pues, en los exemplos de arriba, se tiene la distancia apogéo igual á $1 + 0{,}016809 = 1{,}016809$, y la distancia perigéo igual á

á $1-0,016809=0,983191$; y con estos, todos los datos que son precisos para describir y averiguar las dimensiones de la elipse. Tambien se establece por este medio el lugar del Sol para qualquier instante, y por consiguiente la época ó raiz del movimiento medio. Los Astrónomos fixan esta época á las 12 del dia del 1° de Enero tiempo medio, quando el año es bisiesto, y la víspera del 1° de Enero, tambien á las 12 del dia tiempo medio, en los años comunes.

320 La paralaxe media del Sol, que Mr. de la Lande establece de $8''\frac{1}{2}$, por las observaciones que le han parecido preferibles del pasage de Venus por el disco del Sol en 1769, dá su distancia media á la Tierra de 79360915440 toesas ó 37035094 leguas españolas, y su diámetro verdadero de 1721446685 varas castellanas. Asi, el volumen del Sol es de 1435025 respecto á nuestro globo: siendo su masa, deducida por los principios de la atraccion, igual á 365412, tomando por unidad la de la Tierra.

NO-

NOCIONES SOBRE EL MODO de determinar la teórica del movimiento de los planetas por observaciones hechas desde la Tierra.

321 La teórica del movimiento del Sol bien averiguada sirve de basa para la determinacion de la de los demás planetas, por métodos de que solo darémos una ligera idéa.

322 El tiempo de la revolucion periódica de un planeta se deduce de la comparacion de dos observaciones en que el planeta, visto desde la Tierra, se haya hallado en el mismo punto del Cielo, estando tambien ambas veces respecto al Sol en la misma sizigia. El intervalo entre estos dos instantes, dividido por el número de las revoluciones verificadas por el planeta, dá el tiempo que gasta en una revolucion periódica.

323 Determinada aquella cantidad, es facil inferir, por observaciones hechas desde la Tierra, los lugares en que se vería el planeta desde el Sol. Sea T el lugar de la Tierra en su orbita TT'A, y S el Sol: y hayase observado el ángulo STP, que mide la diferencia entre las longitudes geocéntricas del Sol y del planeta. Sea tambien T' el lugar

Fig. 48.

gar de la Tierra al instante en que el planeta, despues de una revolucion completa, regresa al mismo punto P: y observese el ángulo $ST'P$, que mide la actual diferencia de las longitudes geocéntricas del Sol y planeta. Conociendo, entonces, por la teórica de la Tierra, el ángulo TST' y los radios vectores ST, ST', en el triángulo TST' se tienen dos lados y el ángulo comprehendido entre ellos; por los quales puede inferirse el valor de los ángulos STT', $ST'T$, y del lado TT'. En el triángulo TPT' resultan, pues, conocidos el lado TT', el ángulo $PTT'=PTS-STT'$, y el ángulo $PT'T$ $=PT'S-ST'T$, por los quales se calcularán los lados PT, PT'. Y con esto, conocidos en el triángulo PTS los lados PT, y TS, y el ángulo comprehendido STP, se determinará el lado SP, que dá la distancia acortada del planeta al Sol en el punto P de la proyeccion de su orbita, y el ángulo TSP que dá la diferencia entre las longitudes heliocéntricas de la Tierra y el planeta. Asi, teniendo la longitud de la Tierra vista desde el Sol, que difiere siempre de 6^s de la longitud del Sol visto de la Tierra, se calculará por este método la longitud heliocéntrica del planeta.

324 Para determinar por aquellos datos la latitud heliocéntrica del mismo, se tienen las tan- *Fig. 39. y 40.*

gentes de los dos ángulos FSL, FTL, por los quales se vé la misma línea perpendicular FL, desde los centros S y T del Sol y de la Tierra, en razon inversa de las distancias SL, TL; y, por consiguiente, SL : LT=sen. STL : sen. LST =tang. FTL : tang. FSL. El ángulo STL se llama *ángulo en la Tierra ó ángulo de elongacion*, y el ángulo LST *ángulo en el Sol ó ángulo de commutacion*; y asi, el resultado de aquella proporcion se expresa en esta regla: el seno del ángulo de elongacion, es al seno del ángulo de commutacion: como la tangente de la latitud geocéntrica, á la tangente de la latitud heliocéntrica.

Para determinar por medio de la distancia acortada SL, la verdadera distancia del planeta al Sol FS, el triángulo FSL dá esta proporcion, cos. FSL: R=SL : FS, esto es: el coseno de la latitud heliocéntrica del planeta, es al radio: como la distancia acortada, á la distancia que se busca.

325 Por este camino; pueden calcularse un gran número de longitudes y distancias del planeta que se observe, con lo que, se tendrán otros tantos lugares en su orbita vistos desde el Sol, y, por su medio, la determinacion de todos los elementos del movimiento del planeta, segun indicámos en la primera parte.

Por

326 Por los mismos principios, pueden tambien determinarse las relaciones de la orbita del planeta al plano de la ecliptica, esto es, la posicion de la línea de los nodos y la inclinacion de la orbita.

327 Como el planeta en sus nodos se halla en el plano de la ecliptica, y que, por consiguiente, su latitud es entonces nula, visto desde qualquier punto, la averiguacion de la posicion de los nodos consiste en observar el instante y lugar del planeta, quando su latitud es cero; y este lugar, reducido al en que se le vería del Sol al mismo instante, dá el del correspondiente nodo.

328 Determinada la posicion de la línea de los nodos, podrá hallarse la inclinacion de la orbita, observando la latitud del planeta, quando está á 90° de ellos; pues, la latitud heliocéntrica, deducida de la observacion, es entonces igual á la inclinacion de la orbita. Tambien puede determinarse esta cantidad directamente, si se tienen un gran número de latitudes heliocéntricas, observadas ácia los límites del planeta: entre las quales, la mayor debe dar la inclinacion de la orbita.

329 Ultimamente, el mismo método puede servir, para averiguar, si las líneas de los nodos y de las apsidas están fixas, ó tienen algun movimiento en el Cielo; pues, si, habiendo determinado

dos pasages del planeta por su afelio ó por un mismo nodo en tiempos muy distantes, el quociente del interválo de tiempo entre los dos pasages, dividido por el número de revoluciones completas del planeta respecto á las estrellas, es precisamente igual al tiempo de una de estas revoluciones, será evidente que el afelio y el nodo son inmoviles. Si es mas corto, el afelio ó el nodo tendrán un movimiento retrogrado, y, si es mas largo, el movimiento será directo; pero, en uno y otro caso, la diferencia del quociente y el tiempo de la revolucion periódica respecto á las estrellas, hará conocer la cantidad del movimiento de la línea de las apsidas ó de los nodos, como ya hemos visto (308).

La teórica de la atraccion demuestra (99) que las líneas de las apsidas deben tener un pequeño movimiento directo, y la de los nodos otro, que es siempre retrogrado referido á la orbita del planeta cuya atraccion lo causa; pero, la poca distancia de las observaciones que pueden emplearse con confianza en la averiguacion de estas cantidades, hace que aun no las conozcamos exâctamente; y que, por consiguiente, haya diferencias considerables entre los resultados que sobre ellas nos han dado los Astrónomos.

DE LA LUZ, FIGURA Y DIÁMETROS de los planetas.

330 En los planetas inferiores, Mercurio y Venus, se observan las mismas fases que en la Luna [1], segun sus diferentes posiciones respecto al Sol. Quando corresponden á la conjuncion superior, parecen enteramente iluminados y redondos: al aproxîmarse á la conjuncion inferior, la parte del disco iluminado queda en figura de media Luna: y últimamente desaparecen, á no tener mucha latitud al tiempo de la sizigia. Pero como, si estos cuerpos fuesen por sí mismos tan luminosos como parecen á primera vista, la luz propia del planeta no podría ménos de confundirse con la del Sol, quedando entonces invisibles en las conjunciones, ó distinguiéndose su luz de la del Sol por el color ó grado de viveza, es evidente, que, no verificándose tales fenómenos, Venus y Mercurio, no son diáfanos ni luminosos por sí mismos, y que solo los percibimos por la reflexîon de los rayos del Sol que caen en sus superficies, como nos sucede con los cuerpos terrestres.

Es-

(1) Los párrafos 363 y siguientes explican lo que debe entenderse por fases, y quales son las de la Luna.

331 Esta verdad se extiende á los planetas superiores. En Marte se observan fases semejantes, que no nos dexan duda sobre la legitimidad de la misma consequencia. En Jupiter y Saturno no se advierten iguales apariencias; porque á estos planetas, estando muy distantes de la Tierra, los vemos constantemente como los veríamos desde el Sol, á corta diferencia. Pero, como la interposicion de los mismos planetas produce una sombra opuesta al Sol que desaparece á nuestra vista los satelites, que la atraviesan: y que por otra parte, la sombra de estos mismos satelites, al estár entre el Sol y sus planetas es sensible en la superficie de los últimos, tampoco cabe duda en que los planetas superiores y sus satelites, lo mismo que los inferiores, son todos cuerpos opácos.

332 Al observar los planetas, generalmente nos parece el disco de cada uno como un circulo, que es la figura en que debemos percibir los cuerpos perfectamente esféricos, situados á una distancia considerable de nuestro ojo. Pero, no obstante esta apariencia que podia inclinarnos á creer que la figura de todos los planetas es exâctamente esférica, el famoso Domingo Cassini observó que la figura de Jupiter es aplastada de una cantidad, que, segun las posteriores observaciones de Mr. Short, es igual

á

á $\frac{1}{14}$ de su mayor diámetro : por repetidas experiencias no nos queda duda, en que la Tierra es un esferoide tambien aplastado ácia los polos : el célebre Mr. Herschel ha medido el aplanamiento de Marte, y halladolo de $\frac{1}{16}$: y, aunque en los demás planetas no se haya observado hasta ahora la misma diferencia, esto desde luego procede de que sus diámetros son demasiado pequeños para que las desigualdades sean sensibles. Por esta razon, y, como la causa del aplanamiento es la fuerza centrifuga (340) procedente de la rotacion que observamos en todos los planetas, á excepcion de Mercurio y Saturno, en los quales tambien se supone por analogía, puede decirse, que, generalmente, todos los planetas son otros tantos esferoides aplastados ácia los dos puntos que terminan el exe de la rotacion de cada uno.

333 Como el disco de los planetas, y particularmente los del Sol y Luna, ocupan en el Cielo un espacio algo considerable, las observaciones pueden hacerse por la comparacion de muchos puntos, que deben servir despues, para reducirlas al centro del planeta. Los puntos de los márgenes, que, por razon de ser sensiblemente circulares, están á igual distancia del centro del planeta, sirven con ventaja, tanto para las observaciones como para su reduccion;

por-

porque, pudiendo distinguirse con mayor certeza, no hay mas que aplicar á sus lugares observados una correccion igual á la mitad del ángulo por el qual percibimos el diámetro del astro. Este ángulo es el que se llama *diámetro aparente* del planeta: lo que, como se vé, no significa el valor absoluto de esta dimension, aunque su cantidad depende de ella y de la distancia del planeta al ojo. Y en este sentido, los senos de los diámetros aparentes de un mismo astro, ó por ser este ángulo en todos muy pequeño, los mismos diámetros, están entre sí en razon inversa de las distancias al ojo.

334 Por lo demostrado (281), á una misma altura aparente sobre el horizonte, los diámetros son tambien como las paralaxes; pero, se hecha de ver, que á alturas diferentes esta razon no puede ser la misma, porque, las paralaxes, disminuyendo como el coseno de la altura aparente sobre el horizonte, el diámetro, al contrario, aumenta entonces, en razon de la menor distancia á que el astro vá sucesivamente llegando: hasta que en el zenit, en donde la paralaxe es nula, se verifica su mayor proxîmidad, y, por consiguiente, su mayor
Fig. 42. diámetro. Sea d el diámetro del astro al estár en el punto A del horizonte, y D el diámetro del mismo, quando llega en A' á una cierta altura; y tendrémos

mos (52), $d : D = LA' : LA$. Pero en los triángulos $LA'T$, LAT tambien se tiene $LA' : LT =$ sen. LTA' : sen. $LA'T$, y $LA : LT =$ sen. LTA : sen. LAT; luego $d : D = \frac{LT \times sen\,LTA'}{sen\,LA'T} : \frac{LT \times sen\,LTA}{sen\,LAT}$

$$= \frac{sen\,LTA'}{sen\,LA'T} : \frac{sen\,LTA}{sen\,LAT} = \frac{sen\,LAT}{sen\,LTA} : \frac{sen\,LA'T}{sen\,LTA'};$$

esto es, que los diámetros de un astro, á diferentes elevaciones sobre el horizonte, están en razon directa de las paralaxes, y en inversa de los cosenos de las alturas verdaderas.

335 Sin embargo de que, segun estos principios, la magnitud aparente de los planetas en el horizonte debe ser menor que á qualquiera altura, y de que, el efecto de la refraccion que varía su figura disminuye (301) al mismo tiempo sus dimensiones, es cosa bien conocida y notada particularmente en la Luna, que, al descubrirse los planetas en el horizonte, su magnitud aparente es considerablemente mayor que quando llega á una cierta altura. Pero esta es una mera ilusion optica, que se explica por aquel juicio tácito y comun que nos hace creer muy grandes los objetos que juzgamos muy distantes, al mismo tiempo que juzgamos muy distantes los objetos entre los quales y nuestro ojo vemos un gran número de cuerpos. Asi, como la

Luna, quando está en el horizonte, necesariamente la vemos haciendo juego con los demas objetos colocados en la superficie de la Tierra, la combinacion de todas estas imágenes contemporáneas en el ojo debe darnos la idéa de una gran distancia, por una ilusion que se desvanece con la causa, quando elevándose la Luna tenemos que alzar la vista para percibirla. Á esto se añade, que, por ser la luz de los astros mas débil en las proxîmidades al horizonte, deben tambien parecernos entonces mas distantes: y esto, solo por estár mas obscuros, y no porque su justa magnitud aparente haya variado. Verdad de que qualquiera podrá asegurarse, midiendo el diámetro de la Luna, ó mirándola por un anteojo ó tubo de papel en el mismo momento en que su magnitud le parezca tan crecida, de cuyas resultas hallará, que, lejos de aumentar, se vé á la sazon por menor ángulo.

DE LA FIGURA DE LA TIERRA en particular, en quanto depende de la teórica de la gravitacion y de las operaciones geográficas.

336 Aunque de todos los planetas, el que mas nos importa conocer con exâctitud es la Tierra que habitamos, la averiguacion de su verdadera figura es descubrimiento cuya gloria pertenece á nuestros tiempos mas modernos. Suponiendo la Tierra perfectamente esférica, las medidas de los grados de círculo máxîmo executadas en qualquiera region deben dár siempre la misma cantidad; y asi se vé, que para dudar de la exâcta esfericidad de nuestro globo, solo era necesario encontrar resultados diferentes, en la mediacion de los grados del que se creía círculo perfecto. Esta diferencia se halló en la línea meridiana del Observatorio de París prolongada en toda la extension de la Francia, al norte por Mr. Picard, y de la Hire, y al sur por Domingo Cassini y su hijo; y á su conseqüencia, este Astrónomo con otros franceses no dexáron de despojar á la superficie de la Tierra de la exâcta uniformidad que se le habia atribuido en tantos siglos, haciéndola longa ácia el diámetro que vá de polo á polo. Para poder,

despues formar idéa del método de determinar la figura de la Tierra, convendrá, desde ahora, explicar el raciocinio que conduxo á aquella conclusion.

337 Supuesto, como un principio demostrado por la experiencia y la teórica de la Hydrostática, que, qualquiera que sea la figura de la Tierra, la gravedad obra siempre en direccion perpendicular á su superficie, es evidente, que, si una estrella, al llegar al meridiano $EOO'QB$, pasa por el zenit Z de un observador situado en O, este observador la verá en la direccion de la línea de aplomo ZO, perpendicular á la superficie de la Tierra en el punto O: direccion, que no puede pasar siempre por el centro de la Tierra, á ménos de ser ésta perfectamente esférica. De este modo, suponiendo otro observador en O', la línea de su zenit será tambien la perpendicular en O' á la misma superficie; y como, por razon de la inmensa distancia de las estrellas, la visual AO', por la qual se vé desde O' la misma estrella que está en el zenit de O, es paralela á la OZ, resulta, que los arcos celestes, que miden las variaciones de los lugares en la superficie terrestre, son iguales á la inclinacion de las verticales; y, por consiguiente, que sea la que fuere la figura de nuestro globo, un grado del esferoide terres-

Fig. 49.

restre no es otra cosa, que el espacio que es necesario andar sobre su superficie, para que la línea vertical varíe de un grado. De donde resulta, que la latitud de un lugar O es el ángulo O*m*E, formado por la vertical y el radio del equador.

338 No midiéndose, pues, los grados, por la inclinacion de los radios que ván de los puntos de su superficie al centro de la Tierra, sino por el que forman en el punto de su concurso las verticales, se vé, que, en los parages mas planos ó ménos curvos del esferoide, los grados terrestres deben ser mayores. Efectivamente, en los circulos, la longitud ó magnitud absoluta de los arcos que miden un mismo ángulo son mayores, á proporcion que el radio aumenta, ó que la convexídad del círculo es mas suave; y por esto es claro, que en las demás figuras, las porciones abrazadas por líneas que, teniendo igual inclinacion le son perpendiculares, son tanto mas crecidas, quanto la curvatura es ménos sensible. Asi, si, en diversos parages de la Tierra, se mide el número de pies, varas, toesas ú otra unidad de que consta un grado, se deducirá, por precisa conseqüencia, que la figura de nuestro globo es mas plana ácia los lugares donde correspondan los mayores grados: y aun, por la comparacion de unos

con

con otros, podrá inferirse la naturaleza del sólido terráqüeo.

339 Habiendo, pues, hallado Mr. Cassini, que los grados del meridiano, al sur del Observatorio de París, eran de algunas toesas mayores que los del norte, pareció á algunos bastante razon esta diferencia, para pronunciar que la Tierra era mas curva ó levantada ácia los polos que en el equador: y, ciertamente, la conclusion era innegable, si las operaciones sobre que se fundaba hubiesen sido tan exâctas como Mr. Cassini suponía. Dichosamente, para la pronta averiguacion de la verdad, á esta, que parecía evidencia de hecho, se oponía toda la autoridad de Huygens y Newton, apoyada del sistéma de la atraccion y de nuevos descubrimientos en la Astronomía y en la Física. Los raciocinios de estos hombres grandes estribaban en hipótesis algo diferentes: el primero suponía, que la gravedad primitiva fuese dirigida al centro, y que la gravedad, alterada por la fuerza centrifuga, resultase perpendicular á la superficie: el segundo consideraba generalmente la gravedad primitiva, como procedente de la atraccion de todas las partes de la Tierra, y las columnas centrales en equilibrio, sin embarazarse en la perpendicularidad á la superficie. Pero, para dár alguna idéa de la teórica física de la ver-

verdadera figura de la Tierra, es necesario establecer ántes algunas nociones fundamentales, que podrian ignorar los ménos instruidos.

340 Un cuerpo, que una fuerza qualquiera ha puesto en movimiento, debe, por una ley de la Mecánica, permanecer uniformemente en la direccion que ésta le ha dado, á ménos que otra fuerza altere el efecto de la primera; y, por consiguiente, un cuerpo, que se mueve describiendo un círculo, seguiría siempre la tangente en el punto en donde se halla, que es la direccion de la última fuerza á que ha obedecido, si otra fuerza dirigida al centro no le obligase á variar de camino, conservándole en la circunferencia. Asi, un cuerpo, que se mueve al rededor de un centro, está haciendo continuamente esfuerzos para alejarse de este centro, y á qualquier instante, en que estuviese libre, se escaparía por la tangente á la circunferencia que describe. Esta fuerza, por la qual el cuerpo tira á alejarse del centro, se llama *fuerza centrifuga*, y su existencia nos es sensible en varias experiencias ordinarias. Moviendo circularmente una cuerda, á cuyo extremo se haya atado qualquier cuerpo: la cuerda se estira, el cuerpo actúa contra la mano, que es el centro del movimiento; y la resistencia, que es necesario oponerle, no dexa duda de la fuerza

que

que le obliga á alejarse de la mano. Por esta razon, quando quiere tirarse una piedra con la honda, se hace describir á la honda una porcion de círculo, y la piedra, al desprenderse de ella, sigue una direccion tangente al arco del círculo descripto. La fuerza centrifuga exíste, pues, en los cuerpos que se mueven al rededor de un centro; y se vé claramente, considerando su naturaleza, que, á igual velocidad angular, la fuerza centrifuga debe ser tanto mas grande, quanto mayor sea la velocidad absoluta ó el radio del círculo descripto.

341 De estos principios se sigue evidentemente, que, siendo cierta la rotacion diurna de nuestro globo, la fuerza centrifuga, que resulta en todos los cuerpos de este movimiento, debe tirar á alejarlos del centro: como, en efecto los alejaría, sino estuviesen ligados por la mayor potencia de la gravedad ó pesadéz. Pero, como la destruccion de la primera fuerza no puede verificarse, sino perdiendo la otra la porcion necesaria para vencerla, es claro, que, por un efecto del movimiento diurno de la Tierra, la gravedad de los cuerpos debe quedar disminuida de una cierta cantidad, proporcionada á la fuerza centrifuga; y que asi, desde los polos en que esta es nula, la gravedad ha de ir disminuyendo, hasta llegar á su minimo en el equador.

dor. La gravedad es la fuerza, por la qual vemos todos los cuerpos precipitarse ácia la superficie de la Tierra, y la misma gravedad es la causa que obliga á los pendulos (1) á vibrar continuamente, para llegar al punto mas baxo del arco que describen; y asi, disminuida la gravedad con el aumento de la distancia al polo, precisamente resulta, que el pendulo, que en un cierto lugar corre un arco ó verifica una oscilacion en un segundo, en disminuyendo con la latitud la fuerza que la anima, ha de emplear mas tiempo en ella, ó lo que es lo mismo, las executará en el mismo tiempo, acortándole la longitud, para hacer menores los espacios.

En prueba de estos principios, estando Mr. Richer en la Cayenna 5° al norte del equador, halló que la pendola del relox, que executaba cada oscilacion en París en un segundo, retardaba allí dos minutos cada dia: y que, para que el pendulo en la Cayenna verificase sus vibraciones en el mismo tiempo, era preciso acortar el de París, cuya longitud es de 3 pies $8\frac{3}{5}$ líneas, de una línea y quarto (medida del pie de rey de París). Asi, desde aquel

(1) Llámase pendulo á un cuerpo ó peso suspendido al extremo de un alambre ó hilo que oscila al rededor de un punto fixo.

aquel viage, que emprendió Mr. Richer en el año de 1672, y concluyó en el siguiente para este y otros objetos importantes, quedó fuera de toda contestacion la menor pesadéz ó gravedad de los cuerpos ácia el equador, y agregada esta nueva prueba á la rotacion diurna de la Tierra.

342 Sentados estos principios, supongamos, para poder formar idéas claras separando los efectos de la gravedad de los de la fuerza centrifuga, que la Tierra, compuesta de una materia fluida y homogénea, haya exîstido en reposo un instante. En este estado (P. G. 105), toda la masa debió haber formado una perfecta esfera, para equilibrar todas las fuerzas atractivas: y en la misma disposicion debió continuar perpetuamente, si los efectos de otra fuerza no hubiesen alterado los de la primera. Pero como, por razon de su poca adherencia, las moleculas de un fluido están siempre prontas á moverse, obedeciendo á la mas ligera impresion que se les comunique, se sigue, que, al principiar la Tierra el movimiento de rotacion sobre su exe, la fuerza centrifuga, destruyendo el equilibrio que exîstía ántes, debió elevar toda la superficie del fluido de una cantidad proporcionada á la distancia de sus diversas partes á los polos. Sean, por exem-
Fig. 50. plo, *e*C y CP dos tubos ó canales, que forman un án-

ángulo recto en el centro de la Tierra C, y e, P los parages en que cortan la superficie de la Tierra esférica. Si se considera, que esta verifica su giro sobre CP, es claro, que, quedando disminuido por la fuerza centrifuga el peso del fluido contenido en el tubo del equador eC, su equilibrio con la cantidad de materia del otro tubo CP, cuyo peso se conserva íntegro, no podrá restablecerse, á ménos que elevándose el fluido hasta E, compense el número de partículas en esta parte lo que pierde la gravedad de cada una. Y como, segun lo demostrado por Newton, la fuerza centrifuga en el equador es igual á $\frac{1}{289}$ de la gravedad, si el tubo CP del polo contiene 288 partes de agua, el del equador CE deberá contener 289, para que, perdiendo $\frac{1}{289}$, le quede una fuerza 288, igual á la de la materia del otro tubo. De lo que se sigue, que la columna de fluido del equador, para mantenerse en equilibrio con la del polo, debe elevarse de $\frac{1}{289}$.

343 Se vé, pues, que en virtud de las dos fuerzas que hemos considerado, la Tierra, sea la que fuese la naturaleza de su curvatura, no puede ménos de ser plaba ácia los polos; pero la teórica de la atraccion demuestra además que la figura de la Tierra, en nuestra suposicion, es la de un esferoide eliptico, cuyo exe menor es el que vá de polo

á polo. La demostracion de esta verdad, que aclaró Mr. Stirling, y despues extendieron MM. Clairaut y Mac-Laurin, es demasiado larga, para comprehenderla en estos principios; pero con muy pocos podrá formarse alguna idéa de ella, como sigue.

Fig. 51. 344 Sea PP′ el exe de la Tierra, EQ el diámetro del equador, y AB, AB &c. los radios de los paralelos correspondientes. La fuerza centrifuga de los puntos B, B, *q* &c. son proporcionales á los radios AB, AB (340); y asi, es natural creer, que el efecto de esta fuerza ha de alejar las partículas situadas en el semicírculo CB*q*P′ de una cantidad DB proporcional á AB. Por esto se vé, que las ordenadas AD, CQ &c. de la nueva curva PDQDP′ están en una misma razon con las AB, C*q* &c. del círculo PB*q*BP′; y que, por consiguiente, la curva del meridiano terrestre PDQDP′ es una elipse.

345 De esta consideracion se seguiría, que el aplanamiento ó diferencia Q*q* de los dos exes de nuestro globo debería ser de $\frac{1}{289}$ (342): pero, se percibe á primera vista, que esta cantidad es demasiado pequeña, porque, en su deduccion, solo se ha atendido á la fuerza centrifuga en el equador: siendo asi, que el aplanamiento es el resultado de todas las que se hallan repartidas en los demás puntos de la Tierra, cuyo concurso debe producir una di-

diferencia mayor que la que causaría el solo esfuerzo que se verifica en el equador. En efecto, de la demostracion rigorosa resulta, que, segun los principios de la atraccion, el exe mayor de la elipse terrestre es al menor como 231 á 230, ó que el aplanamiento de nuestro globo es de $\frac{1}{231}$.

346 La exâctitud del raciocinio sobre que se funda esta conclusion, no podia tener otra prueba, que la medida de dos ó mas grados terrestres, que determinasen la naturaleza de la curva del meridiano. La Academia de las Ciencias de París, ansiosa de resolver por este medio la qüestion de la figura de la Tierra, propuso y consiguió que se comisionasen tres de sus mas distinguidos miembros, para medir el grado terrestre en la America meridional baxo el equador. El Rey de España Felipe V, de gloriosa memoria, no contento con proteger el lógro de tan importante empresa, franqueando sus dominios, quiso que dos de sus vasallos fueran tambien partícipes del mérito de la execucion. Los Excelentísimos Señores D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, cuya juventud hacía ya concebir las altas esperanzas que despues han realizado, salieron de España en el año de 1735, para encontrarse con los académicos franceses, MM. la Condamine, Godin, y Bouguer, en el teatro de las operaciones en Qui-

Quito: y á su vuelta, que no se verificó hasta once años despues, publicáron su interesante é instructiva Historia de este viage. Mr. Bouguer y Mr. de la Condamine, que regresáron, el primero á los ocho años y el otro mas tarde, publicáron tambien, cada uno separadamente, relaciones del mismo viage, que son de las mejores obras á que ha dado lugar la discusion de la figura de la Tierra. Y últimamente ha quedado demostrada la elevacion de la Tierra en el equador, por merecido fruto de los trabajos de esta científica compañía.

347 Se percibe facilmente, que, para completar la penosa empresa de los geómetras enviados al Perú, hubiera sido necesario transportar al polo otra compañía semejante, para que, haciendo las observaciones correspondientes, resultasen, de su diferencia, los límites de la desigualdad de los grados. El polo de la Tierra es inaccesible á la curiosidad humana; pero Mr. de Maupertuis, dotado de una actividad propia para vencer los obstáculos mas grandes y penetrado de la ventaja de poder comparar á la del Perú una observacion mas distante que la de la Francia, formó el proyecto de abanzarse ácia el polo quanto fuese dable, para medir un grado. El proyecto fué aprobado, y su mismo autor Mr. de Maupertuis, con MM. Clairaut, le Monnier, Camus,

mus, y Outhier, encargado de executarlo en la Laponia sueca. El Rey de Suecia, siguiendo el reciente exemplo dado por el de España, coadyuvó con su proteccion á la realizacion de este pensamiento, cuya utilidad debia extenderse á todo el mundo, y Mr. Celsius, profesor de Astronomía en Upsal, se agregó á los académicos, para medir el grado terrestre baxo el círculo polar en el rio Tornea.

348 Esta empresa, aunque contrariada de todos los trabajos que debe sentir un habitante de la Francia en el invierno del círculo polar, se comenzó en 1736 y concluyó á principios del siguiente: y sus resultados dieron la primera prueba de que la figura de la Tierra era como Newton, sin salir de su gabinete, habia deducido.

349 El modo de sacar de las mediciones el resultado que se deseaba, se reduce á este problema: *Teniendo el valor de dos grados en una elipse, hallar sus dimensiones*. El Excmo. Sr. D. Jorge Juan, Mr. de Maupertuis y otros geómetras han inventado métodos para resolver este problema; pero el siguiente, que se debe al Doctor Letherland, nos parece uno de los mejores; porque, además de lo rigoroso de su teórica, tiene tambien el mérito de una solucion muy breve y elegante.

Sea

Fig. 52. Sea AMCLBD la elipse que representa uno de los meridianos de la Tierra, AB el exe mayor de la curva ó el diámetro del equador, y CD el exe menor de la misma ó el del globo terráqüeo: y, suponiendo que, tanto en L como en *l*, se haya medido un grado, tírense los diámetros TM, T*m*, conjugados á los que se termínan en L, *l*. Dando ahora las medidas de los grados los valores de los radios de curvatura en L, *l*, y siendo, por una propiedad de la elipse (veanse los Principios de Don Benito Bails, §. 1127) estos radios de curvatura, como los cubos de los semidiámetros MT, *m*T, la relacion de estos semidiámetros podrá considerarse como conocida. Y siendo tambien por la equacion de la curva $mP^2 = \frac{CT^2}{AT^2} \times (AT^2 - TP^2)$, y el quadrado de la otra $MQ^2 = \frac{CT^2}{AT^2} \times (AT^2 - TQ^2)$, se tendrá $mP^2 - MQ^2 = \frac{CT^2}{AT^2} \times (TQ^2 - TP^2)$, y por consiguiente $mP^2 - MQ^2 : TQ^2 - TP^2 = CT^2 : AT^2$. Por esta proporcion podrá inferirse la razon del exe de la Tierra al diámetro del equador; porque, habiéndose averiguado la razon de *m*T á MT, se conocerán precisamente *m*P, y MQ, que son los cosenos de los ángulos *m*TC, MTC que

que miden las latitudes de los lugares L, l, suponiendo por radio, para el primero el semidiámetro mT, y para el segundo el semidiámetro MT: como tambien TQ, y TP, que son los senos de las mismas latitudes, con los mismos radios. Asi, como los senos y cosenos aumentan ó disminuyen en la misma razon que los radios que se consideran, podrá tomarse un radio qualesquiera para representar el semidiámetro Tm correspondiente á la menor latitud, y calcular el resultado que se busca, por las siguientes reglas:

Habiendo hallado los senos y cosenos de las latitudes de los dos lugares, para el radio arbitrario que se adopte: aumentese separadamente el seno y coseno de la mayor latitud, en la razon subtriplicada (esto es como las raíces cúbicas) del valor del grado en la mayor latitud al de la menor; y la razon de la diferencia entre los quadrados del seno aumentado y del seno de la menor latitud, á la diferencia entre los quadrados del coseno de la menor latitud y del coseno aumentado, será la razon duplicada, ó la razon de los quadrados del diámetro del equador y exe terrestre.

350 Si uno de los dos grados medidos es el que atraviesa el equador, la operacion se hace mas facil; porque, suponiendo que L sea el lugar del

otro grado, se vé, describiendo con el radio CT el semicírculo CED, tirando la línea nT, y la otra Ko paralela á AB, que To es el coseno de su latitud, tomando el semiexe TC por radio, y TH el mismo coseno aumentado, segun la regla del párrafo antecedente. Pero HM es á Hn, ó TA á TE, ó TA á TC: como la tangente de la latitud MTC, á la tangente del ángulo HTn, á que en la suposicion del radio TC pertenece como coseno el aumentado TH; luego, para el caso de que tratamos, podrá reducirse la operacion á la siguiente regla:

Habiendo aumentado el coseno de la latitud del grado fuera del equador, en la razon subtriplicada de las cantidades de que constan los grados, la tangente de la latitud, y la tangente correspondiente al coseno aumentado, en la suposicion del mismo radio, dará la razon del diámetro del equador al exe.

351 *Determinada esta razon, será facil hallar por los mismos principios el valor absoluto de los diámetros, y por el las dimensiones ó magnitud del globo terrestre.*

La expresion del radio de curvatura de la elipse en el equador es $\frac{CT^2}{AT}$, y la del mismo radio

en

en el polo $\frac{AT^2}{CT}$; por lo qual, suponiendo el grado medido en el equador igual á g, resultará, multiplicándolo por 57,29578 (valor del radio de un círculo en grados de la circunferencia), $\frac{CT^2}{AT} = g \times 57{,}29578$. Pero, la razon de AT á CT se tiene conocida; luego, haciéndola igual á a será $\frac{CT}{a} = g \times 57{,}29578$, y $CT = a \times g \times 57{,}29578$; por cuyo medio, conocida ya CT y substituido su valor en la equacion $\frac{AT}{CT} = a$, se deducirá tambien el de $AT = a^2 \times g \times 57{,}29578$. Dada, pues, la cantidad del aplanamiento, ó razon entre el diámetro del equador y exe terrestre, por la medida de un solo grado en el equador, podrá averiguarse la magnitud de nuestro globo.

352 *La medida de un grado qualquiera, aunque esté distante del equador, bastará para hallar el mismo resultado.*

Siendo L, por exemplo, el parage de la medicion del grado, se tendrá $MT : TH = R : \text{sen.} HMT$, y $TH : nT = \text{sen.}\ HnT : R$; y, por consiguiente, $MT : nT = \text{sen.}\ HnT : \text{sen.}\ HMT = \text{cos.}\ HTn :$

 cos.

cos. MTH. Asi, si dado el valor del grado en L y la razon de AT á CT, se deduce (350) el valor de tang. $HTn = \frac{CT}{TA} \times$ tang. MTH, ó lo que es lo mismo, si por medio de la latitud de L, que llamarémos L, y de la razon de CA á CT, que continuarémos en expresar por a, se halla un ángulo m, tal que tang. $m = \frac{1}{a} \times$ tang. L, el valor del grado en el equador resultará conocido por lo demostrado; pues, representándo por G el grado en L y por g el del equador en B, se tendrá $G : g = MT^3 : CT^3 (= nT^3) = \cos.^3 m : \cos.^3 L$, y $g = G \times \frac{\cos^3 L}{\cos^3 m}$; por cuyo medio, se averiguarán facilmente las dimensiones de la elipse.

353 Segun las observaciones de los Excelentísimos Señores D. Jorge Juan y D. Antonio Ulloa, el grado del meridiano contiguo al equador consta de 56767,788 toesas del pie de rey de París, y la razon del diámetro del equador al exe de la Tierra es de 266 á 265; de donde se deduce, el semiexe mayor igual á $3278951\frac{1}{2}$, y el semiexe menor igual á $3266624\frac{1}{2}$ toesas.

354 *Con la razon de los diámetros ya determinada, puede hallarse inmediatamente el valor del diá-*

diámetro del paralelo, para qualquiera latitud.

Sea CLB un quadrante eliptico del meridiano, CT el semiexe terrestre, TB el radio del equador, y HFB un quarto de círculo descripto con este último como radio: y suponiendo que NL es el radio del paralelo, cuyo valor se busca, tírese la perpendicular LA á TB. Si por el punto L y el F, en que la prolongacion de LA encuentra el círculo, se tiran las tangentes LD, FD á la elipse y al círculo, estas tangentes concurrirán en el mismo punto D, y la primera formará con TD un ángulo LDT igual al complemento de la latitud del paralelo NL; con lo que se tendrá AL : AF = TC : TB = tang. ADL : tang. ADF = cotang. latitud : cotang. FTA. Asi, conocido de este modo el ángulo FTA, se deducirá el valor de TA igual al radio del paralelo NL, por esta proporcion: el radio, es al coseno del ángulo hallado FTA: como FT ó el radio del equador, á la cantidad que se busca. *Fig. 53.*

355 *De estos principios resulta un método facil de calcular el ángulo formado por la vertical y radio terrestre, en una latitud qualquiera.*

Determinado el valor del ángulo FTA, se tiene FA : LA = CT : TB = tang. FTA : tang. LTA (= cotang. TLA); y este ángulo, añadido al que mi-

mide la latitud ALD, dará el ángulo TLD; por el qual, restando el ángulo MLD, resultará el ángulo TLM, formado por la normal LM y radio terrestre TL en el punto L.

356 Suponiendo las diferencias de los grados muy pequeñas, se demuestra: *que los aumentos de los grados* (vease la Astronomía de la Lande, ó las Observaciones del Excmo. Sr. D. Jorge Juan), ó cantidades en que los de las latitudes exceden al del equador, *son como los quadrados de los senos de las latitudes*. Asi, si se quiere hallar el valor de qualquier arco ó porcion de la curva del meridiano, podrá emplearse esta propiedad; pues, determinándose por ella el número de toesas, varas ó pies de que consta cada grado del arco propuesto, su suma dará el valor de todo el arco. Lo mismo podrá executarse directamente, recurriendo á la rectificacion de la elipse; pero, en tal caso, es necesario hacer muy convergente la série que se use, para que la operacion sea cómoda y el resultado bastante aproxîmado.

357 La resolucion de los problemas antecedentes está fundada sobre la perfecta regularidad de la Tierra, lo qual no debe disimularse, que tratando de averiguar su verdadera figura, es entrar dando por supuesta la misma qüestion que ha de dis-

discutarse. Á la verdad, Mr. Clairaut demuestra, que, aun prescindiendo de la homogeneidad de su materia, la Tierra será un esferoide eliptico, con tal de que su masa esté compuesta de una infinidad de capas concéntricas, todas de diferente densidad: pero esta es una hipótesis, de cuya legitimidad es imposible asegurarnos. Mr. d' Alembert, para tratar el asunto ménos hipoteticamente, supone que los meridianos del esferoide no sean semejantes, y, que no solamente cada capa difiera de las demás en densidad, sino que las densidades de los varios puntos de una misma capa sean diferentes. Mr. de Buffon, considerando como naturalista las desigualdades de la superficie terrestre, tambien habia pensado ántes que otro alguno, que nuestro globo no tiene una figura regular. Pero todas estas meditaciones, aunque suficientes para demostrar la insuficiencia de las primeras suposiciones, no bastaban para hallar la verdadera. Mr. de la Place, sin embargo, ha tirado últimamente á resolver esta gran qüestion por un camino nuevo, que consiste en buscar *à priori* la figura que debe tomar un esferoide homogeneo de revolucion infinitamente poco diferente de la esfera, para quedar en equilibrio, en virtud de la mútua atraccion de todas sus partes y de su rotacion sobre un exe. La

equa-

equacion diferencial que saca es muy general y simple, y satisfaría plenamente, si fuese capaz de una integracion rigorosa; pero, aunque el elipsoide se halle comprehendido en ella, y que, despues de excluir un gran número de figuras, no conozca otra conveniente al caso del equilibrio, Mr. de la Place, al fin, no se atreve á pronunciar que aquella forma sea la única.

358 La teórica, pues, no nos ha demostrado satisfactoriamente todavia, que la Tierra sea una perfecta elipse, ni la semejanza de los meridianos en otra hipótesis; pero como las suposiciones mas verosimiles y naturales sobre el interior de nuestro globo exîgen esta figura, puede creerse con varios grandes geómetras, que la Tierra es un esferoide con cortísima diferencia elíptico.

359 Las medidas de los grados en diferentes latitudes y regiones podrían decidir este punto, con mas certeza que la teórica de la Hydrostática, si fuesen muy numerosas y conformes. Pero, siendo necesario recurrir á las reglas de la probabilidad, para combinar las hechas hasta ahora, se halla que las alteraciones que es preciso introducir en los datos, para reducirlos á un mismo resultado, exceden los límites de los errores que regularmente deben suponerse en las operaciones. Y esto parece establecer co-

como verdad de observacion: Que la figura de los meridianos no es exáctamente eliptica: ó que la eterogeneidad interior de nuestro globo hace un efecto considerable en desviar el aplomo de su situacion propia (1): ó que ambas causas contribuyen á producir las diferencias experimentadas.

La medida en la Laponia dió, por exemplo, 57422 toesas, por el valor del grado del meridiano en la latitud media de 66° 20′: la de Francia

57074

(1) Algunos geómetras han considerado el efecto que podia tener en el aplomo la atraccion de las montañas próxîmas, y atendiendo á esta causa Mr. Maskelyne (Introduccion á las observaciones de MM. Mason y Dixon Philos. Transact. an. 1768 p. 2701) mira la medida hecha por los Sres. Mason y Dixon como ventajosa para determinar la figura de la Tierra, por ser el terreno en que corre la línea meridiana tan llano como si se hubiese nivelado artificialmente. Pero Mr. Enrique Cavendish (Porscript. id. p. 325), habiendo investigado varias reglas para hallar la atraccion de las desigualdades de la Tierra, ha hallado, por suposiciones probables de la altura de los montes Allegony, su distancia al grado medido, y la profundidad y declivio del Occeano atlantico, que el grado pudo bien resultar disminuido de 60, ó 100 toesas. El mismo ilustre autor y por los mismos principios tambien ha hallado, que los grados medidos en Italia y en el Cabo de Buena esperanza pueden haber padecido alteraciones muy sensibles, por la atraccion de las alturas, y defecto de la atraccion del Mediterráneo y occeano Indio.

57074, por el grado en la latitud media de $49^\circ\frac{2}{5}$: y la del Perú, segun Mr. Bouguer, 56753, por el grado en que la latitud media es nula; lo que facilmente se conocerá, que no conviene con la hipótesis del elipsoide. Por esta razon, Mr. Bouguer, considerando dichas medidas como igualmente buenas y libres de sospecha, lejos de dár la preferencia á alguna, le pareció mucho mas justo buscar una hipótesis que permitiese admitirlas todas, ó por mejor decir, que debia abrazarse la que indicasen las mismas observaciones. Segun apuntámos (356), en el elipsoide los grados crecen ó disminuyen en razon de los quadrados de los senos de las latitudes; pero en los referidos se vé, que la ley de las variaciones es la de los quadrados quadrados ó quartas potencias de los mismos senos. Mr. Bouguer, por este principio, busca la naturaleza de la curva del meridiano; y de resultas, halla, que, en esta suposicion, el aplanamiento de la Tierra es de $\frac{1}{179}$.

360 Pero las demás medidas se separan de los resultados de esta hipótesis, aun mas que de la elíptica: y la averiguacion de la verdadera figura de la Tierra, no está ménos imperfecta por el camino de la experiencia que por el de la teórica. El grado medido por Mr. de la Caille en el cabo de Buena esperanza es de 57037, esto es, casi tan grande

en

en la latitud meridional de 33° 18′, como el de Francia en la latitud septentrional de 49° 23′; por donde podría inferirse, que los dos hemisferios no son semejantes, y que al contrario la Tierra es mas plana ácia el polo del sur que ácia el del norte. Mas no paran aqui todas las diferencias. El grado medido por los Sres. Mason y Dixon, en las Provincias de Pensilvania y Marylandia de la America septentrional, no se conforma con el de Francia ni con el de Mr. de la Caille. Y aunque el P. Beccaria ha hallado en el Piamonte un grado semejante al de la Francia en la misma latitud, los medidos por el P. Boscovich en Italia, y por el P. Liesganig en Austria y Hungría, no convienen con los determinados en Francia á igual latitud baxo otro meridiano.

361 En la imposibilidad de apurar la verdad, conténtemonos, pues, con determinar los límites de nuestra incertidumbre, concluyendo de lo dicho: que todos nuestros conocimientos sobre este asunto se reducen por ahora, á saber que la Tierra es realmente plana ácia los polos, y que la diferencia de sus diámetros, que confirma la exîstencia de la atraccion, es corta. En quanto á la precisa cantidad del aplanamiento, tambien parece probable que no difiera mucho del señalado por el

Excmo. Sr. D. Jorge Juan, como, asimismo conforme á su dictámen, que la Tierra puede tenerse por eliptica realmente [1]. Pero sobre la decision de estos dos puntos, repitamoslo aun, no podria pronunciarse sin temeridad, y la prudencia dicta remitirla al tiempo en que otros adelantamientos proporcionen poder formar un juicio mas exâcto.

DE LA LUNA Y DE SUS FASES.

362 La Luna, que despues del Sol es el objeto mas notable del Universo, es el satelite ó astro compañero de la Tierra. Por consiguiente, la Tierra es respecto á la Luna, lo que respecto á la Tierra el Sol. Pero la fuerza del planeta principal, que obliga al satelite á mantenerse en sus cercanías, no exerce un imperio tan absoluto, que excluya los efectos de las atracciones de los demás cuerpos celestes que están á distancias de hacer su accion sensible. Así,

(1) Pero no es de omitir, que nuestro sábio funda su conclusion principalmente en las observaciones del pendulo: razon que, sin entrar en mayor discusion, ha perdido mucho de su fuerza con haber demostrado Mr. de la Place: que qualquiera que sea la forma de la Tierra, con tal que difiera poco de la esférica, las variaciones de la pesadéz siguen la misma ley que en el esferoide eliptico.

Así, las leyes impuestas al satelite, por la fuerza central que le domina, resultan modificadas por la potencia estraña del Sol: y á su conseqüencia, el movimiento de la Luna, en nuestro caso, resulta complicado de tantas y tan variables desigualdades, que los Astrónomos por mucho tiempo creyeron imposible sujetarlas á una ley constante. Esta rebeldía, sin embargo, no ha podido resistir al sistéma de la atraccion auxîliado de los cálculos modernos: y MM. d' Alembert, Clairaut y Euler, han establecido fundamentalmente la teórica de la Luna, y calculado tablas de sus movimientos que sobrepujan á todas las esperanzas de los que les precedieron, y que, corrigiéndose cada dia, probablemente llegarán á su último grado de perfeccion muy breve. Los límites de este tratado no nos permiten trazar los pasos de aquellos hombres grandes; y asi, contentándonos con remitirnos á sus originales, nos ceñirémos ahora á dár algunas nociones de los fenómenos generales, y á apuntar las causas físicas de las desigualdades mas notables.

363 Llámanse *fases de la Luna* á las diferentes apariencias con que se nos presenta su disco, segun la situacion en que se halla respecto al Sol y á la Tierra.

364 Las fases de la Luna son fenómenos que

que todo el mundo nota; y así, es cosa generalmente sabida: que el dia de la conjuncion de la Luna con el Sol, que se llama el del *novilunio* ó *Luna nueva*, su disco no se percibe en el Cielo: que los dias siguientes se vé en forma de una tajada curva, cuya convexidad está vuelta ácia el Sol: y que la concavidad se vá despues llenando, hasta que en la oposicion de la Luna, que se llama el *plenilunio* ó *Luna llena*, se vé su disco terminado en círculo perfecto. Pasado este término, la parte occidental de la Luna cesa de parecer, la parte oriental toma entonces la figura de la tajada anterior, y su ancho disminuye hasta el siguiente novilunio, en que la Luna desaparece totalmente, para principiar á manifestarse sucesivamente con las mismas apariencias.

365 La razon de estos fenómenos se ofrece á primera vista. Una bola presentada á la luz de una hacha, solo queda iluminada como hasta el medio, quedando la otra mitad obscura é imperceptible á nuestra vista; por lo que, no siendo el globo de la Luna diáfano ni luminoso por sí mismo, precisamente ha de suceder, que solo veamos la parte comun dirigida al mismo tiempo ácia el Sol y ácia la Tierra.

366. Por la naturaleza de los cuerpos esféricos,

cos, los rayos del Sol no pueden iluminar sensiblemente mas que la mitad de la superficie de la Luna; de lo que resulta, que la Luna tiene siempre un hemisferio iluminado y un hemisferio obscuro. La línea tirada del centro del Sol al de la Luna determina el punto medio del hemisferio iluminado; el qual por conseqüencia, está siempre separado del hemisferio obscuro por un círculo perpendicular á aquella línea: y este círculo, que llamarémos I para distinguirlo con comodidad en lo sucesivo, tiene una posicion constante respecto al Sol.

367 Siendo igualmente cierto, que de un globo solo puede verse como la mitad de su superficie, es claro, que el círculo lunar, cuyo plano es perpendicular á la línea tirada del ojo al centro de la Luna, terminará el hemisferio visible, y será el único que pueda verse entero. Este círculo es, pues, de posicion tan constante respecto al ojo como el I respecto al Sol: y para expresarlo como el primero le llamarémos V.

368 Quando la visual dirigida al centro de un círculo no es perpendicular al plano de éste, el círculo parece una elipse: y si la visual llega á confundirse con el mismo plano, el círculo parece una línea recta. Asi, al círculo V siempre lo verémos como tal círculo, y el I nos parecerá tambien círcu-

cular quando coincida con el otro ; pero en las demás posiciones sus arcos visibles se presentarán á nuestros ojos como porciones elípticas ó rectas, segun la inclinacion de la visual conducida al centro.

Fig. 54. 369. Esto supuesto, quando la Luna en su conjuncion ó novilunio en N se halla situada entre el Sol S y la Tierra T, la coincidencia de los círculos V é I se verifica ; pero, correspondiendo entonces el hemisferio iluminado á la parte opuesta á la Tierra, los puntos de la superficie expuestos á las visuales son todos del hemisferio obscuro, y la Luna en este estado desaparece para nosotros.

370 Separada la Luna del Sol en su revolucion de occidente á oriente, el hemisferio iluminado gira sobre uno de sus diámetros, corriendo el hemisferio visible, y las intersecciones de los semicírculos, I y V forman dos ángulos esféricos agudos ; por lo qual, algun tiempo despues del novilunio, como en O, puede ya verse la pequeña porcion iluminada comprehendida entre la mitad occidental del círculo V y la inmediata del otro círculo I. Por lo dicho la mitad del círculo I, aunque al principio casi circular, debe parecer elíptica : y la convexidad de esta elipse, vuelta ácia la concavidad del semicírculo V, debe producir la apariencia de los cuernos lunares, cuyas puntas son los vértices de los án-

ángulos esféricos en los extremos del diámetro que sirve de exe de rotacion al círculo I.

371 Continuando el círculo I en moverse por el hemisferio visible, y aumentando los ángulos esféricos formados por las dos mitades de los círculos V é I, el plano del último se inclina mas y mas respecto á la visual de la Tierra al centro de la Luna. Asi, la mitad de este círculo I debe parecernos una semielipse, y esta semielipse debe irse estrechando, hasta el quarto de la revolucion de la Luna, en que el plano del semicírculo I, siendo perpendicular al del V, la visual al centro de la Luna coincide con aquel plano, y la semielipse confundida se vé como una línea recta. La figura Q de la parte visible é iluminada de la Luna es, pues entonces, la de un semicírculo determinado por un diámetro: y esta fase, que se verifica á 90° del Sol, se llama *primer quarto* ó *quarto creciente*: como tambien, *primer octante* el punto O, en que la Luna se halla entre el novilunio y primer quarto, ó á 45° del Sol ántes de llegar á este.

372 Desde el primer quarto, el semicírculo I continúa moviéndose por el hemisferio visible, haciéndose obtuso y aumentando por grados sucesivos el ángulo de los I y V: la convexidad de la semielipse aparente I está entonces opuesta á la mi-

tad occidental del círculo V, y, ensanchándose mas y mas, dá á la parte iluminada una figura, que continuamente se aproxîma á la de un círculo completo; y que llega á esta figura, quando en la oposicion P, siendo el plano del círculo I perpendicular á la visual al centro de la Luna, este círculo queda confundido con el V. En el plenilunio, por consiguiente, debe verse todo el hemisferio iluminado: y al llegar á esta fase, tanto el círculo I como la Luna, completan la mitad de su revolucion respecto al Sol.

373 El punto O′, igualmente distante de 45° del plenilunio P y primer quarto Q, se llama *segundo octante.*

374 En la otra mitad de la revolucion, el mismo movimiento del círculo I nos manifiesta la Luna con figuras semejantes á las anteriores. El semicírculo I, que con la mitad oriental del círculo V comprehende la parte visible iluminada, vuelve á verse como una semielipse, que estrechándose despues, llega á quedar en una línea recta: y esto sucede en los tres quartos de la revolucion de la Luna. En esta posicion Q′, que se llama *segundo quarto* ó *quarto menguante*, la figura de la Luna se nos vuelve á presentar como un semicírculo terminado pōr un diámetro. Y el punto O″ que, estando á 45° de

Q′

Q' y P, señala el medio de aquella fase y la del plenilunio, se distingue con el nombre de *tercer octante*.

375 Por último: despues del segundo quarto, la semielipse se vá estrechando, volviendo su convexidad ácia la concavidad oriental del semicírculo V; y al fin desaparece, confundiéndose con el círculo V en el siguiente novilunio N. Entre esta fase y la del segundo quarto se distingue el *quarto octante*, ó punto O''', distante de 45° de una y otra.

376 Además de las mencionadas, las apariencias del disco de la Luna ofrecen otros fenómenos, que no dependen de la luz que recibe del Sol directamente. Pasado el novilunio, se vé distintamente, que á la tajada iluminada sigue una luz débil esparcida sobre el resto del disco, que nos hace percibir toda la redondéz de la Luna. Esta, que se llama *luz cenicienta*, consiste en que, como la Luna reflecta los rayos del Sol ácia la Tierra, la Tierra tambien dirige por reflexion la luz del Sol ácia la Luna; de lo que resulta, que, estando la Luna en conjuncion con el Sol para nosotros, ó lo que es lo mismo, la Tierra en oposicion para la Luna, la parte del hemisferio obscuro de la Luna que mira ácia la Tierra queda iluminado con la

claridad esparcida por el globo de la Tierra. Por esta causa, en el mismo tiempo de la conjuncion percibiríamos todo el disco de la Luna, si el Sol, que vemos tambien entonces, no absorviese enteramente esta claridad, impidiéndonos su efecto; pero, puesto el Sol, y casi concluido el crepusculo, la luz cenicienta queda distintamente manifiesta.

377 Del contraste de la luz cenicienta y la luz viva del hemisferio iluminado procede otro fenómeno optico, que, por un efecto no ménos conocido, abulta la magnitud aparente de la parte visible iluminada. Esto consiste, en que la luz mas fuerte, comprehendiendo y absorviendo la mas débil, hace una impresion en el ojo, por la qual el diámetro aparente de la media Luna parece mucho mayor que el del disco obscuro; y á conseqüencia, todo el mundo cree ver la porcion iluminada como parte de otro globo mas considerable.

NOCIONES SOBRE EL MOVIMIENTO de la Luna y su teórica.

378 En la Luna se distinguen las mismas revoluciones que en los planetas, y los intervalos de que constan, segun la Astronomía de Mr. de la Lande, son los siguientes.

La

379 La revolucion tropica de la Luna, es de $27^d\ 7^h 43'\ 4'',65$.

El movimiento medio diurno de la Luna respecto al equinoccio es, pues, de $13^\circ\ 10'\ 35'',03$.

380 Por razon de la retrogradacion de los puntos equinocciales (313), al completar la Luna su revolucion tropica, no puede aun haber llegado á la misma estrella; y asi, en el tiempo de su revolucion sidérea, se cuentan $27^d\ 7^h\ 43'\ 11'',51$. Este es el que se llama *mes periódico*.

381 Pero para que la Luna, despues de una revolucion completa en su orbita, pueda volver al Sol, debe correr además el número de grados de que el Sol, por razon del movimiento anual, se adelantó en la ecliptica, hasta alcanzarlo. Esta que se llama *revolucion sinodica*, *mes lunar*, ó *lunacion* es de $29^d\ 12^h\ 44'\ 2'',89$.

382 Conforme á los principios de la atraccion, el apogéo de la Luna verifica una revolucion tropica segun el orden de los signos, en 8 años comunes $311^d\ 8^h\ 34'\ 57'',6$.

383 Segun la misma teórica, la línea de los nodos, moviéndose en sentido retrogrado, completa una revolucion respecto al primer punto de Aries, en 18 años comunes $228^d\ 4^h\ 52'\ 52'',3$.

384 Las observaciones manifiestan, que la ve-

velocidad de la Luna, en general, aumenta ó disminuye, á proporcion que su diámetro aparente aumenta ó disminuye, y que, por consiguiente, la distancia á la Tierra se hace mayor ó menor; y, como los términos de las máximas y minimas velocidades corresponden á puntos del Cielo sensiblemente opuestos, es facil concluir, que esta desigualdad tiene su causa en la excentricidad de la orbita lunar, y que debe representarse por la equacion del centro.

385 Pero, comparando las cantidades de la equacion de la orbita determinadas por observaciones hechas en diferentes revoluciones de la Luna, resulta, que esta primera desigualdad, lejos de ser constante, está ella misma sujeta á otra desigualdad. Esta segunda desigualdad, que se llama *eveccion*, fué descubierta por Ptolomeo, y procede de las posiciones del Sol respecto á la Luna y á su apogéo, como si la orbita de la Luna se alargase, aumentando su excentricidad, siempre que el Sol corresponde á la línea de sus apsidas.

386 La explicacion física de esta desigualdad, por los principios de la atraccion, se ofrece á primera vista. En todos los casos en que el Sol corresponde al apogéo ó perigéo de la Luna, ó lo que es lo mismo, siempre que la línea de las apsidas de

de la orbita lunar concurre con la línea de las sizigias, la fuerza central de la Tierra á la Luna, que es la mas debil en la sizigia apogéo, experimenta su máxîma disminucion: y la fuerza central, que está en su máximo en la sizigia perigéo, recibe entonces la menor disminucion posible (97). De esto se sigue, que la diferencia entre la fuerza central en el apogéo y perigéo habrá variado, tomando todo su incremento; y que por consiguiente, la diferencia de las distancias, ó lo que es lo mismo, la excentricidad de la orbita, será entonces mayor que todas las anteriores. Asi, la observacion demuestra, que la máxîma equacion de la Luna, en tal caso, es de $7^{\circ}\frac{1}{3}$, no siendo de 5°, quando la línea de las quadraturas concurre con la de las sizigias. Y por esta razon, para representar la segunda desigualdad ó eveccion, se toman $6^{\circ}\ 18'\frac{1}{2}$ por la equacion media de la orbita.

387 Hallándose la línea de las apsidas de la orbita lunar á la distancia de unos 45° del Sol, en cuyo caso, la segunda desigualdad debia ser nula, y la primera dár una misma equacion, y, por consiguiente, una misma velocidad á la Luna en la sizigia y en la quadratura, Tycho Brahe observó, no obstante, que la velocidad en la sizigia era mas considerable; y de aqui ha resultado precisa la admi-

mision de una tercera desigualdad en la teórica de la Luna. La equacion de esta desigualdad, que se llama *variacion*, es nula en las sizigias y en las quadraturas, y llega á su máxîmo en los octantes de la Luna.

388 La variacion tambien depende de la situacion del Sol, cuya atraccion altera continuamente el movimiento de la Luna. Sea T el centro de la Tierra, S el del Sol, y ABCDE la orbita de la Luna, supuesta perfectamente circular. Estando la Luna ántes de la conjuncion en A, la accion del Sol por la tangente la atrae en la direccion AS con mayor fuerza que á la Tierra; y conseqüentemente, su velocidad aumenta, hasta llegar á su máxîmo en la conjuncion C. Pasado este término, la acceleracion de la Luna principia á disminuir, porque la parte de la atraccion del Sol que obra por la tangente retarda su movimiento; pero el exceso de la velocidad adquirida á la velocidad media dura hasta el octante D, en que la velocidad media es igual á la verdadera: y en este punto, el cúmulo de todas las diferencias forma la máxîma equacion de la tercera desigualdad, que es de 37′ aditiva.

Fig. 55.

289 La comparacion de los intervalos de las revoluciones observadas en diferentes tiempos manifestáron tambien á Tycho, que las revoluciones de la

la Luna no eran de igual duracion en todas las estaciones del año, y de aqui nació una quarta desigualdad, que se llama *equacion anual.*

390 La teórica de Newton la explica con igual sencilléz que las anteriores. Estando la gravedad de la Luna ácia la Tierra alterada por la atraccion del Sol en todo caso, es evidente, que, quando este luminar se halle mas próxîmo á la Tierra, la gravedad quedará disminuida de una cantidad proporcionada á la diferencia ocurrida en las distancias. Asi, siendo menor en estos casos la fuerza que retiene en su orbita á la Luna, precisamente ha de seguirse, que la Luna, alejándose del centro de su movimiento, dilatará las dimensiones de la orbita, aumentando segun la ley de Keplero (91) el tiempo de sus revoluciones. La equacion anual no es mas que de $11'\frac{1}{4}$.

391 Además de estas quatro equaciones, sobre cuya exîstencia no hay diversidad entre los Astrónomos, los principios de la teórica, y la penosa comparacion de las observaciones, han hecho conocer otras varias, que en los cálculos de Mr. Clairaut ascienden con las primeras al número de veinte y dos equaciones. La teórica de la atraccion bien considerada parece que debe ser suficiente para hallar todas estas alteraciones, que son efectos

resultantes de las diferentes circunstancias que influyen en el movimiento de la Luna; pero, sin embargo, las tablas de Mayer, cuya exâctitud bien averiguada las hace preferibles á las demás publicadas hasta ahora, son resultados deducidos por el cálculo y rectificados despues por la comparacion de las observaciones.

392 Cotejando las hechas en diferentes siglos, se ha advertido tambien una acceleracion en el movimiento medio de la Luna, que, haciendo mas corto el tiempo de sus periódos actuales, produciría un grado de error en el lugar de la Luna que se calculase para el año 300 ántes de Jesu-Christo, empleando el movimiento observado en este siglo. Esta desigualdad, que no es de las que se desvanecen y renuevan á cada revolucion, y que, al contrario, parece que aumenta constantemente acumulándose con los siglos, es de la misma clase de otras observadas en Júpiter y Saturno, y se representa por una equacion llamada *secular*.

393 Era natural recurrir á la teórica, para exâminar, si estas desigualdades podian proceder del obstáculo de la materia etherea: cuya exîstencia y resistencia quedarían probadas por este fenómeno, en tal caso. La Académia de las Ciencias de París eligió este asunto para uno de sus prémios, y de las

las investigaciones de Mr. Bossut, que fueron coronadas en 1762, resulta, que, para explicar la equacion seculár de la Luna, podría admitirse la suposicion de nadar en un fluido resistente. Pero, como las conseqüencias deducidas al mismo tiempo sobre su efecto en los demás planetas son insuficientes, para dár razon de sus equaciones seculáres, parece que, aun quando el vacío absoluto se crea repugnante á las leyes de la sana Física, deberá á lo ménos abandonarse todo pensamiento de resistencia, y apelar, para la explicacion de estos fenómenos, á causas mas conformes á las observaciones. Siendo siempre de notar, que la acceleracion de la Luna no está demostrada con una absoluta evidencia, y que Mr. de la Grange, en una Memoria que ganó el prémio de dicha Académia en 1774, ha manifestado, que todas las observaciones de la Luna hechas hasta aqui pueden representarse, sin suponer equacion seculár á este satelite.

394 La orbita de la Luna está inclinada á la ecliptica, lo mismo que la de todos los demás planetas; pero la cantidad de esta inclinacion varía, como notó Tycho Brahe. La inclinacion de la orbita lunar no excede 5° en las sizigias que se verifican á 90° de los nodos, pero en las quadraturas es de $5^{\circ}\ 17'\frac{1}{2}$. Y estas alteraciones se ex-

plican por los principios de la atraccion expuestos (99).

395 La distancia de la Luna á la Tierra, deducida de la observacion de sus paralaxes, varía entre unos 55 y 65 semidiámetros del equador terrestre, y su distancia media consta de 91970 leguas españolas (siempre de 5000 varas castellanas); y asi, la Luna está unas 400 veces mas próxima á la Tierra que el Sol (320).

396 El diámetro real de la Luna es de 4165714 varas castellanas, y su razon con el diámetro terrestre proxîmamente la de 3 á 11. Por consiguiente, la solidéz ó volumen de la Luna, respecto á la Tierra, será igual á $\frac{1}{49}$, y esta tambien sería la relacion de las masas de la Luna y de la Tierra, si ámbos cuerpos estuvieran compuestos de una misma materia. La averiguacion de la conformidad ó disparidad de aquella expresion con la verdadera de las masas es, sin embargo, dificil; porque, solo podemos adquirir idéas de la cantidad de materia de la Luna por ciertos efectos, como los de las maréas y nutacion del exe terrestre, que no son fáciles de medir exâctamente. Pero varias razones fundadas hacen creer, que la masa de la Luna es con corta diferencia igual á $\frac{1}{71}$ de la de la Tierra.

La

397 La Luna presenta siempre á la Tierra la misma parte, á corta diferencia: lo que no podria suceder, si al mismo tiempo que hace su revolucion al rededor de la Tierra, no tuviese un movimiento de rotacion sobre uno de sus diámetros. Si, siendo esta rotacion uniforme, lo fuese tambien el movimiento de revolucion de la Luna, es evidente, que, sin descubrirlas nuevas, jamás dexaríamos de ver las mismas manchas en su disco. Pero, como el primer movimiento parece uniforme, al mismo tiempo que el segundo es váriable, resulta una pequeña variacion en la parte visible de la Luna, que fué descubierta por Galiléo. Y este fenómeno, que se llama *libracion*, es un efecto que tambien procede de la inclinacion del plano del equador de la Luna al plano de su orbita, y de la inclinacion de este mismo plano á la ecliptica terrestre.

DE LOS ECLIPSES.

398 *Eclipse* es un fenómeno que sucede, quando el todo ó parte de un astro desaparece: sea porque otro astro nos estorbe su vista, sea porque cese de estár iluminado.

399 Como la Luna y la Tierra reciben igualmente del Sol la luz que las aclara, quando uno de

de estos dos cuerpos se pone directamente entre el Sol y el otro, resulta una obscuridad en el mas distante, que impide ver el Sol, ó una porcion de su disco, desde todo el espacio que comprehende. Estos eclipses, que suceden con bastante freqüencia, se distinguen en solares y lunares. Llámase *eclipse de Luna* aquel en que la interposicion de la Tierra oculta el Sol al todo ó parte de la Luna: y *eclipse de Sol*, que con mas propiedad se nombraría de Tierra, aquel en que la posicion de la Luna estorba ver el todo ó alguna porcion del Sol desde algun parage de la Tierra.

400 Para entender las circunstancias de los eclipses, convendrá dár alguna idéa de la sombra que acompaña á un cuerpo esférico iluminado por otro de igual figura.

401 Como la luz se propaga en línea recta, un punto luminoso, que aclara á un cuerpo opáco, es el vértice de una piramide terminada por las tangentes conducidas desde él á los extremos de dicho cuerpo: de la qual, la porcion ó piramide truncada opuesta al punto luminoso, que continúa al infinito, no puede recibir los rayos que éste esparce. Todo el espacio, pues, comprehendido en estos límites está obscuro, y qualquiera seccion de la piramide truncada por un plano debe señalar en éste el area

que

que ocupa la sombra : la qual será tanto mas sensible, ó parecerá tanto mas negra, quanto la calidad de la luz del punto radiante produzca mayor contraste.

402 Por la misma razon, un cuerpo esférico, que aclara á otro de igual clase, produce un cono de sombra, que, si el cuerpo luminoso es mayor que el aclarado, tiene su vértice, y se termína en un punto situado á la otra parte de este, pero que si es menor, continúa al infinito, y tiene su vértice opuesto al cuerpo aclarado respecto al luminoso. Sea, por exemplo, SS' el diámetro del Sol, TT' el de la Tierra, y tírense las rectas STV, S'T'V, ST'G, S'TF. Se vé, que TT'VF representa un espacio de la piramide ó cono truncado que forma la Tierra con el punto S', y TT'GV la misma piramide producida por el punto S; y que asi, la parte comun de estos dos conos, ó cono TVT', determina el espacio de perfecta sombra que no recibe luz alguna. Para qualquier punto, pues, tomado dentro del espacio ó cono TVT', el diámetro aparente del cuerpo TT' será mayor que el del Sol SS'; y, por consiguiente, el disco del último estará invisible. *Fig. 56.*

403 En el punto V y todos los de la línea VS', solo se percibe la luz que despide el punto S', pe-

pero, al paso que se toman los puntos mas distantes ácia G, se ván descubriendo sucesivamente los del Sol de S′ á S, hasta que en G ya llegan los rayos de todo el disco. Por esto, á la sombra pura T V T′ sigue otra sombra ménos obscura, que se llama *penombra*, cuya intensidad disminuye á proporcion de lo que se aparta de la sombra pura. Y es evidente, que los puntos de igual grado de obscuridad en la penombra, como los que termínan la sombra pura, deben formar la circunferencia de un círculo en qualquier plano conducido perpendicularmente al exe del cono A V.

404 Opuesto en el vértice al cono T V T′ se prolonga al infinito otro cono *a* V *c*, que determina un espacio, dentro del qual, todas las visuales tangentes en T, T′ &c. deben encontrar el disco del Sol. Asi, desde qualquier punto comprehendido en el cono *a* V *c*, siendo el diámetro aparente del cuerpo T T′ menor que el del Sol S S′, el primero solo cubrirá una parte interior del segundo, y el disco visible de éste formará entonces una especie de faxa circular al rededor del otro.

405 Por lo dicho se vé, que, si las orbitas de la Luna y de la Tierra estuviesen en un mismo plano, en todas las conjunciones y oposiciones habria eclipses, porque entonces la Tierra ó la Luna

se

se hallarian precisamente en la direccion de la sombra del otro cuerpo. Pero, como la orbita lunar, inclinada á la ecliptica de 5°, no tiene de comun con esta mas que los puntos de los nodos, los eclipses solo pueden acaecer en los tiempos en que la Luna, cerca de sus nodos, se halla tambien bastante próxîma á la ecliptica para poder ocultarnos el Sol, ó entrar en la sombra de la Tierra que no se separa jamás del mismo plano.

406 Para averiguar, pues, si debe haber eclipse en un novilunio ó plenilunio señalado, despues de calcular por las tablas la hora en que se verifica la sizigia, es necesario ver si la latitud es de un grado á corta diferencia, porque en tal caso puede creerse que haya eclipse. Por lo qual, quando, conociendo la posicion de los nodos de la Luna, quieren saberse los tiempos del año en que puede haber eclipse, no hay mas que buscar los dias del novilunio y plenilunio en el mes en que el Sol se halla próximo á los nodos, y ver si la latitud de la Luna entonces es tal que prometa eclipse.

407 La prediccion de los eclipses puede tambien hacerse por medio de un periódo antiguo que se atribuye á los Caldéos. El orden de la sucesion de los eclipses no es uniforme, porque los movimientos del Sol, Luna y nodos de la orbita lunar

producen continuas desigualdades en los intervalos que los dividen: pero estas desigualdades se completan en aquel periódo que consta de 223 meses lunares ó 18 años y 10 dias, y al cabo de este tiempo la Luna vuelve con cortísima diferencia al mismo punto de su orbita, y al mismo aspecto respecto al Sol y á la Tierra. Asi, este periódo, que algunos llaman *saros*, basta para anunciar los tiempos en que deben acaecer los eclipses, y aun para hallar con mucha precision el eclipse que debe suceder 18 años despues del que se ha observado.

408 Pero, para determinar con toda exâctitud las circunstancias de un eclipse venidero, empleando los elementos del movimiento del Sol y de la Luna, debe principiarse por exâminar su movimiento relativo; pues no tiene duda, que, si ambos cuerpos conservasen siempre la misma distancia relativa, ó no se moviese uno de ellos respecto al otro, aunque el movimiento absoluto de ámbos fuese grande, el eclipse nunca se verificaría. En una palabra: el eclipse depende de la cantidad de que dos astros se acercan en virtud del exceso de sus velocidades, si se mueven en el mismo sentido, ó de su suma si se mueven ácia partes opuestas; y, por consiguiente, para simplificar el cálculo, sin abandonar consideracion alguna que influya en la exâcti-

titud, se hace abstraccion del movimiento de uno de ellos, suponiéndolo fixo, y se traslada al otro toda la cantidad del movimiento relativo deducido del absoluto de cada uno. Esta suposicion, que es natural y disminuye las atenciones de la operacion, se extiende con igual motivo al cálculo de la conjuncion de dos planetas, ó de un planeta y una estrella, y á los apulsos (1), y eclipses ú ocultaciones de los planetas y estrellas por la Luna.

409 Pero aunque este método de considerar los eclipses convenga generalmente á los de todas clases, las dificultades del cálculo en los del planeta y satelites varía, como indicarémos, despues de manifestar las diferencias que se hacen de los eclipses segun sus circunstancias.

410 El eclipse de Luna ó de un satelite, en general, no es otra cosa que la obscuridad que produce la sombra del planeta principal en el disco del satelite (399): y estos eclipses pueden distinguirse en parciales, totales, y centrales. *Eclipse parcial* es aquel en que sola una porcion del disco del satelite queda obscurecida: *eclipse total* aquel en que el satelite entero está en la sombra: y *eclipse centrál* es

(1) El *apulso* sucede, quando la Luna y estrella están bastante próximas para ser vistas en el mismo anteojo.

es el que sucede, quando la oposicion del satelite respecto al planeta principal se verifica en el mismo punto del nodo de su orbita, ó que el satelite atraviesa la sombra por el mismo centro.

411 La cantidad del disco del satelite que queda obscurecida depende, tanto del diámetro del satelite y posicion de su centro respecto al plano de la orbita del planeta principal, como del diámetro de la sombra en la region por donde el satelire la atraviesa. Siendo TVT' el cono de sombra del planeta TT', y suponiendo que el satelite en su oposicion se halla en la region LL', se vé, que, quando el semidiámetro del satelite, que supondrémos igual á mBL, mas el ángulo LBC ó diámetro aparente de la sombra en aquella parte, es exâctamente igual ó menor que la latitud mBC del centro del satelire sobre la orbita principal, no puede verificarse eclipse, porque el satelite entonces solo puede tocar con su limbo la circunferencia de la sombra. Al contrario, quando la suma de los semidiámetros $mBL+LBC$ es mayor que la latitud mBC, el disco del satelite queda obscurecido de una cantidad igual al exceso; y, por consiguiente, el eclipse será total, quando éste sea igual al duplo del semidiámetro, ó lo que es lo mismo, al diámetro entero del satelite. Asi, para que en su oposicion suce-

Fig. 56.

ceda eclipse, es necesario que la Luna, por exemplo, se halle á bastante distancia de sus nodos para que su latitud no exceda 64′, porque la sombra terrestre nunca ocupa en la region de la Luna mas de 47′, y el semidiámetro 17′.

412 La parte obscurecida del diámetro aparente de la Luna, como tambien la ocultada del Sol, suele expresarse en dozabos del mismo diámetro, que se llaman *dedos* ó *digitos eclipticos*: y cada digito se divide en sesenta minutos.

413 El eclipse de satelite, pues, que consiste en la entrada y salida ó *inmersion* y *emersion* de los diferentes puntos de su disco en el cono de sombra del planeta principal, debe verificarse en el mismo instante para todo el universo, segun sucederia con los eclipses de Sol considerados como de Tierra (399); y asi, halladas sus apariencias para un lugar determinado, los resultados son constantes, aunque se varíe la suposicion del punto desde el qual se observan. Esta circunstancia hace los eclipses lunares de un cálculo mucho mas facil que los solares, que no son los mismos en toda la superficie de la Tierra, como indicarémos inmediatamente.

414 Los eclipses de Sol, cuyo efecto general es ocultarnos el todo ó alguna parte de aquel astro, se distinguen en totales, anulares, y centrales.

les. *Eclipse total* es aquel en que, siendo el diámetro de la Luna mayor que el del Sol, éste queda cubierto enteramente por el disco de la Luna (402). *Eclipse anulár* es aquel en que, por ser el diámetro del Sol mayor que el de la Luna, toda esta parece dentro del Sol: cuyo disco visible forma entonces una especie de anillo luminoso al rededor del otro (404). Y el *eclipse centrál* sucede, quando, siendo nula la latitud de la Luna, en el instante de la conjuncion aparente, su centro y el del Sol se hallan igualmente en el exe: y estos eclipses son totales ó anulares al mismo tiempo que centrales, segun la relacion de los diámetros.

415 Un eclipse de Sol particular no es visible desde todos los lugares de la Tierra, como todos los eclipses solares tampoco pueden ser visibles en un mismo lugar, porque la sombra de la Luna solo comprehende un espacio determinado de nuestro globo. Por la misma razon, los eclipses solares son tambien mucho mas raros que los lunares para un lugar señalado; porque, siendo el cuerpo de la Luna mucho menor que el de la Tierra, su sombra solo puede abrazar una pequeña parte de la superficie de ésta: y aun algunas veces sucede, que el exe del cono de sombra es demasiado corto para llegar á nosotros, como en los eclipses anulares.

En

416. En los de Sol la sombra lunar corre sucesivamente un corto espacio de la superficie terrestre, y á cada paso de este tránsito el eclipse principia en un lugar, concluye en otro, y ofrece á los intermedios otras fases. Esta variedad de las circunstancias de un eclipse, con respecto á los diferentes países de la Tierra, dimana de la diferencia de las paralaxes en todos los puntos de nuestro globo; y por esta consideracion, el cálculo de los eclipses de Sol resulta bastante penoso y complicado. Atendiendo sin embargo á su grande utilidad en la Astronomía y Geografía, se han inventado muchos diferentes métodos para calcular sus circunstancias, ya con el objeto de disminuir la dificultad de las operaciones, ya con el de hacerlas mas exâctas. Pero, siendo este un asunto que no podríamos tratar sin propasar los límites que deben circunscribirnos, nos ceñirémos en él á las nociones dadas: remitiendo á los que deseen adquirir una sólida instruccion del cálculo de los eclipses á las obras de Astronomía, y particularmente á la de Mr. de la Lande, y á las Memorias de Mr. du Sejour sobre su método análitico, publicadas en las de la Academia de las Ciencias de París.

USO

USO DE LAS OBSERVACIONES astronómicas para determinar la situacion de los lugares.

417 Las latitudes y longitudes geográficas, que fixan la posicion de los lugares en la superficie de nuestro globo, se determinan por las observaciones de los astros; pero el primer elemento se hálla con exâctitud mucho mas facilmente que el segundo, y de los métodos que se ofrecen á este fin son de mayor uso los dos siguientes.

Primer método.

418 *Eligiendo una estrella bastante próxîma al polo elevado para no ponerse en el horizonte del lugar: y, observando sus dos alturas meridianas, la altura del polo se deduce por una operacion que se distingue en estos dos casos.*

1° Quando las dos observaciones se han hecho en la misma parte del meridiano, esto es, ambas al norte ó al sur del zenit.

Tómese la mitad de la suma de las alturas, y ésta será la altura del polo ó latitud del lugar. Y la latitud será norte ó sur, segun la parte en que se hayan observado las alturas.

Por

Porque, siendo HO el horizonte, ZTN la línea del zenit, Pp el exe del mundo, EQ el equador, y EE' el paralelo de un astro, la altura del polo OP es igual á $OE' + \frac{E'E}{2} = \frac{OE+OE'}{2}$. Fig. 57.

2° Quando las alturas meridianas observadas corresponden á partes opuestas del zenit, esto es, que una cae al norte y otra al sur.

Tómese el complemento de la semidiferencia de las alturas, y éste dará la latitud, del mismo nombre que la menor altura.

Porque, siendo ee' el paralelo del astro cuyas alturas meridianas se han tomado, es $PO = Oe' + Pe'$

$$= \frac{2\,Oe' + 2\,Pe'}{2} = \frac{Oe' + Oe' + ePe'}{2} = \frac{Oe' + ePO}{2}$$

$$= \frac{180^{\circ} - eH + Oe'}{2} = 90^{\circ} - \frac{eH - Oe'}{2}.$$

419 *El segundo método que, siendo una aplicacion de la declinacion, supone este conocimiento, consiste en observar la altura meridiana de un astro: y se divide en estos quatro casos.*

1° Quando el astro observado no está perpetuamente sobre el horizonte, y que al mismo tiempo la distancia al zenit y la declinacion tienen el mismo nombre.

La diferencia entre el complemento de la altura, y la declinacion es la latitud buscada.

Fig. 58. Porque siendo AA′ el paralelo del astro, la declinacion AE ménos el complemento ZA de la altura meridiana AO, dá el arco ZE, igual á la altura del polo ó latitud PO.

2° Quando, en la misma suposicion de que el astro se ponga, la altura, ó distancia al zenit, y la declinacion son de nombre contrario.

La suma de los dos datos es la latitud que se busca, de la misma especie que la declinacion.

Porque entonces, siendo ee' el paralelo del astro, será $Ee + eZ = EZ = PO$.

3° Quando el astro es de perpetua apariencia sobre el horizonte, y la altura meridiana observada la mayor.

Hágase lo que prescriben las reglas anteriores.

4° Quando en la misma suposicion de que el astro no se ponga, es la observada su menor altura meridiana.

La suma de la altura meridiana y del complemento de la declinacion, será igual á la latitud, de la misma especie que la declinacion.

Porque el complemento Pe' de la declinacion
Fig. 57. $e'Q$, mas la altura $e'O$ dá la altura de polo PO.

420 En quanto á la determinacion de la longi-

gitud, no tiene duda, que, si al mismo instante se observan los ángulos horarios de un mismo astro correspondientes á los meridianos de dos lugares, la diferencia de estos ángulos horarios, quando se hayan tomado ácia la misma parte, esto es, ambos al oriente ú occidente de los meridianos, ó la suma, quando los ángulos horarios correspondan á partes opuestas, darán la diferencia de meridianos, ó de las longitudes geográficas de dichos lugares. La observacion del ángulo horario es sumamente facil (171), y la execucion del método anterior lo sería igualmente, si hubiese algun medio seguro de avisar á dos observadores que no se comunican el preciso instante, en que, dirigiéndose como de un movimiento comun al Cielo, harían sus observaciones contemporáneas. Pero este aviso no puede hallarse en los objetos terrestres, cuya apariencia se extiende á muy corto espacio: y el Cielo, que ofrece mayor campo de vista á los observadores diferentemente situados, no lo dá siempre con la seguridad que se apetece.

El movimiento de los astros errantes en el Cielo presenta una variedad de fenómenos á cada instante, que pueden servir para señalar el mismo momento á todos los que observen. Pero este medio no puede adoptarse á ciegas, y ántes de emplearlo, deben exâminarse, para preferir el mas exâcto, los errores inevitables á que están sujetas las observaciones é influxo que tienen en los resultados. En general, un fenómeno momentáneo, como un relámpago, es preferible á todos los demás, para denorar el mismo instante; porque, durando solo lo necesario para percibirlo, el observador no está expuesto á equivocaciones, ni puede titubear sobre la determinacion del preciso tiempo en que sucede. En defecto de aquellos fenómenos, que se pierden luego que acaecen, puede hacerse uso de los que solo varían, y que, en recompensa de la menor exáctitud, ofrecen la ventaja de la permanencia. Los diversos puntos á que sucesivamente corrésponde en el Cielo un astro errante pueden observarse, por exemplo; y saber en todo tiempo las diversas apariencias con que se vió el Cielo en el instante que se quiera, desde distintos lugares de la Tierra. Pero, asi como este es un recurso únicamente para quando no haya ó no puedan emplearse los fenómenos instantáneos, tambien debe atenderse á elegir, en tal caso, el astro cuyo movimiento veloz ofrezca una variedad mas sensible; pues es evidente, que si muda de situacion con mucha lentitud, el astro estará inmovil por algun tiempo á nuestra vista, y no podrá determinarse desde va-

varios lugares el preciso momento en que se halló en el mismo punto. La determinacion de las longitudes geográficas pide, pues, una prolixa atencion á todas estas circunstancias, y esta escrupulosidad combinada con el tino del observador y la exáctitud de las sucesivas operaciones, dán al resultado el grado de certidumbre con que puede averiguarse la posicion del lugar en que se executáron las observaciones.

421 Las señales que los astrónomos emplean comunmente se reducen, á los eclipses lunares y solares, á los de los satelites de Júpiter, y á las ocultaciones de las estrellas por la Luna. Los eclipses lunares son facilísimos de observar, y fueron, por consiguiente, los primeros fenómenos á que se dieron estas aplicaciones. Los de los satelites de Júpiter tienen la gran ventaja de la freqüencia con que suceden, y son visibles en toda la Tierra; y por esta razon, para el uso general, son los mas útiles. Pero como en las ocultaciones de las estrellas son instantáneas la desaparicion y reaparicion en el disco de la Luna, estas señales son exâctísimas, y deben preferirse á todas las demás, aunque la observacion de los fenómenos en los eclipses solares sea tambien mas facil y muy justa.

422 Como el ángulo horario del Sol convertido en tiempo, dá la hora del lugar que se halla de-

debaxo del meridiano á que se refiere, la diferencia de meridianos de los lugares es igual á la de las horas que se cuentan en ellos al mismo instante. Por esto, la determinacion de la diferencia de longitudes geográficas se reduce á hallar las horas que se cuentan al mismo instante en diferentes lugares; y por consiguiente, teniendo reloxes exâctamente conformes al movimiento medio del Sol, toda la operacion necesaria para deducir las longitudes se limita á notar en ellos la hora que señalan, quando sucede alguno de los fenómenos propios para dár el mismo momento á varios observadores. La diferencia de horas convertida en grados será entonces precisamente la de los meridianos correspondientes; y por esta diferencia, restada ó añadida á la longitud del lugar conocido, se averiguará facilmente la del otro.

423 Los eclipses de Luna sirven de este modo para determinar la diferencia de meridianos facilmente; porque el resultado se deduce inmediatamente de la comparacion de las horas de las observaciones, y éstas solo se suponen hechas en iguales circunstancias, esto es, por observadores de vista igualmente conformada, y con anteojos de la misma fuerza. Para aumentar la exâctitud, se observan los eclipses sucesivos, ó inmersiones y emersiones de las man-

manchas de la Luna, lo mismo que las de todo el disco, porque la penombra produce como un minuto de incertidumbre en la observacion del principio ó fin del eclipse. Y los astrónomos aconsejan no hacer uso de anteojos que excedan ocho ó diez pies para estas observaciones; porque, empleándolos mas largos, la sombra terrestre se vería demasiado mal terminada.

Por exemplo: en las Transacciones filosóficas anglicanas num. 385, pag. 186, se halla la siguiente comparacion de las observaciones hechas en Lisboa y París del eclipse de Luna sucedido en 1.º de Noviembre de 1724.

1^h	$47'$	$45''$	Principió en Lisboa.
2	33	30	Idem en París.
0	45	45	Diferencia de meridianos entre Lisboa y París.
2	00	16	La sombra en Aristárco en Lisboa.
2	46	15	Idem en París.
0	49	59	Diferencia.
0	11	28	La sombra en Galiléo en Lisboa.
2	56	20	Idem en París.
0	44	52	Diferencia.
2	34	37	La sombra en la orilla septentrional del mar Caspio en Lisboa.

3^h	$20'$	$30''$	Idem en París.
0	45	53	Diferencia.
2	37	17	La sombra en Proclo en Lisboa.
3	23	30	Idem en París.
0	46	13	Diferencia.
3	31	34	Copernico totalmente fuera de la sombra en Lisboa.
4	17	50	Idem en París.
0	46	16	Diferencia.
3	47	46	Timocharis fuera de la sombra en Lisboa.
4	33	34	Idem en París.
0	45	48	Diferencia.
3	58	59	Platon enteramente fuera de la sombra en Lisboa.
4	44	23	Idem en París.
0	45	24	Diferencia.
4	20	36	Fin del eclipse en Lisboa.
1	06	30	Idem en París.
0	45	54	Diferencia.

Tomando un medio entre las observaciones del principio y fin del eclipse, resulta $45' \, 49'' \frac{1}{2}$, ó $45' \, 50''$ en números redondos, por la diferencia de meridianos entre Lisboa y París en tiempo, ó $11^\circ \, 27'' \frac{1}{2}$ en grados; esto es, tomando la longitud de de París de $8^\circ\ 36'\ 15''$ oriental de Cádiz, será la longitud de Lisboa respecto á este meridiano de $2^\circ\ 51'\ 15''$ occidental.

424 La determinacion de la diferencia de meridianos por los eclipses de los satelites de Júpiter es tan facil como por los lunares: y aunque la inmersion ó emersion observada en un lugar sea anterior ó posterior á la observada en otro, el cálculo es el mismo, con tal, que del tiempo de la primera observacion se reste ó sume el intervàlo de las correspondientes revoluciones sinódicas del satelite observado.

Por exemplo: en las Transacciones filosóficas anglicanas num. 375, pag. 237, se halla la siguiente noticia comunicada por el Doctor Halley.

El ingeniero D. Juan de Herrera hizo en Cartagena de Indias las siguientes observaciones.

Año de 1722 (estilo antiguo).

Inmersion del primer satelite de Júpiter, el 9 de Abril á.	$15^h 58' 44''$	t. v.
Emersion del mismo satelite, el 5 de Julio á. .	11 23 41	t. v.
Emersion del mismo satelite, el 21 de Julio á. .	9 42 17	t. v.

Observaciones hechas en Wansted por MM. Pound y Bradley.

Inmersion del primer satelite de Júpiter, el 11 de Abril á.	$15^h 30' 25''$	t. v.
Emersion del mismo satelite, el 7 de Julio á. .	10 54 12	t. v.
Emersion del mismo satelite, el 23 de Julio á. .	9 13 35	t. v.

Restando de los tiempos de estas observaciones, que son los de los eclipses proxîmamente anteriores á los observados en Cartagena, $1^d\ 18^h\ 28'\ 36''$ de que consta una revolucion sinódica del primer satelite, resulta:

Hora en Cartagena.	Hora en Wansted al mismo instante.	Diferencia de meridianos.
$15^h\ 58'\ 44''$	$21^h\ 01'\ 49''$	$5^h\ 03'\ 05''$
11 23 41	16 25 36	5 01 55
9 42 17	14 44 59	5 02 42

Por donde, tomando un medio entre las tres observaciones, se deduce que Cartagena de Indias está $5^h\ 2'\ 34''$ al occidente de Wansted en tiempo, ó $75°\ 38'\ 30''$ en grados; pero Wansted está $6°\ 14'\ 20''$ al oriente de Cádiz, luego la longitud de Cartagena de Indias respecto á este meridiano es de $69°\ 24'\ 10''$ occidental.

La

425 La hora calculada en que debe suceder el fenómeno para un meridiano qualquiera, puede emplearse lo mismo que una observacion efectiva para deducir la diferencia de las longitudes geográficas; pero la comparacion de las observaciones correspondientes será siempre mas exâcta y preferible. Si por falta de observacion correspondiente es, no obstante, preciso recurrir á la hora calculada por los elementos de las tablas, podrá rectificarse el resultado, teniendo despues el cuidado de exâminar, por medio de la observacion mas inmediata, la correccion que requieren los datos de las tablas; y esta correccion aplicada, al cálculo que se hizo del eclipse, dará un resultado casi equivalente al que se hubiera hallado por la mas exâcta comparacion de una observacion practicada entonces.

426 Todos los que navegan pueden facilmente tener la gloria de contribuir á los progresos de la Geografía, procurando no perder ocasion de observar los eclipses de los satelites: por cuyo medio se ha establecido la posicion de una buena parte de la superficie de nuestro globo. Para esto, solo es necesario arreglar un pendulo ó buen relox, tomándo alturas correspondientes con un Quadrante astronómico, ó en defecto de éste con uno de reflexîon. Y, aun quando la ocasion no permita el

uso de este método, el tiempo siempre podrá determinarse, por medio de una altura absoluta del Sol ú otro astro, ó, lo que será mejor, por un medio entre varias alturas. Las tablas de las efemérides manifiestan, sin el trabajo de hacer el cálculo, los tiempos en que se verifican los eclipses de los satelites de Júpiter: y el observador situado en qualquier parage de la Tierra, conocerá que el eclipse le será visible, averiguando, si, quando el Sol está de 8° á 10° debaxo del horizonte, Júpiter se halla elevado de igual cantidad sobre el mismo plano.

Asegurado de la posibilidad de percibir el eclipse, el observador, para no perderlo por razon de la incertidumbre de los datos que le advierten y han hecho conocer el instante en que ha de verificarse, deberá estár con su anteojo preparado tres minutos ántes del tiempo de una inmersion del primer satelite, seis ú ocho minutos ántes de la del segundo ó tercero, y un quarto de hora ántes de la del quarto. Cuyos interválos de precaucion deberán aumentarse de toda la incertidumbre de la longitud, quando el observador no se halle en meridiano exâctamente conocido.

427 Las observaciones de los satelites de Júpiter se hacen comunmente con anteojos ordinarios de

de 21 pies, ó anteojos achromaticos ó telescopios equivalentes; y como la mayor parte de los astrónomos no los tienen mas largos, parece que, por ahora, solo conviene hacer uso de aquellos, á fin de evitar el defecto de correspondencia entre los diferentes observadores. En el uso de los anteojos, para observar los eclipses de los satelites, se deberá tambien tener presente que, ántes de la oposicion de Júpiter al Sol, las inmersiones y emersiones suceden al occidente, y, despues de la oposicion, al oriente de Júpiter; y que asi, si el anteojo invierte los objetos, las apariencias deberán buscarse á los lados opuestos.

428 Los eclipses de Luna y de los satelites de Júpiter son utilísimos para fixar las posiciones de los lugares: pero, como ya indicámos, no es dudable, que los eclipses solares y ocultaciones de las estrellas fixas, dando momentos mas precisos, son los medios mas exâctos que conocemos para hallar las diferencias de los meridianos. La única desventaja de este método consiste, en que, exîgiendo la consideracion de la paralaxe de la Luna en latitud y longitud, su cálculo es muy largo y demasiado complicado para las personas poco versadas en las operaciones astronómicas. Los astrónomos, no obstante, hacen un uso continuo de este medio, para ade-

adelantar la Geografía : y á los demás observadores les será facil contribuir por su parte al mismo bien general, haciendo las observaciones de estos fenómenos con el cuidado y freqüencia posible, y apuntándolas, para reducir los resultados en ocasion mas oportuna, ó franqueando estos materiales, para exercitar el celo de los que se ocupan en tales investigaciones.

DEL MOVIMIENTO DE LAS ESTRELLAS.

429 Los movimientos que se perciben en las estrellas deben distinguirse en dos clases : una comprehende los movimientos generales que son comunes á todas las estrellas : y la otra el particular movimiento propio que hace excepcion, ó por mejor decir, se complica con aquellos, en algunas estrellas señaladas.

El último movimiento se determina por la observacion de las estrellas, que manifiesta la diferencia entre su actual lugar y el que conviene á aquellas reglas generales; y asi, para tener la cantidad de estas diferencias que influyen directamente en la teórica de todos los demás astros, deberá principiarse por establecer la de los movimientos generales.

Los

430 Los movimientos generales son quatro: á saber: precesion, aberracion, nutacion y variacion general en latitud.

La *precesion de los equinoccios* procede de la retrogradacion de los puntos equinocciales en la ecliptica, supuesta inmovil; y por consiguiente, no supone variacion alguna en las latitudes de las estrellas fixas. La cantidad media de la precesion de los equinoccios es de $50''\frac{1}{3}$ cada año. Y, para concebirla claramente, puede imaginarse, que todo el Cielo tiene un pequeño movimiento al rededor del exe de la ecliptica, de modo, que todas las estrellas se mueven ácia oriente paralelamente á la ecliptica de $50''\frac{1}{3}$ cada año.

431 La retrogradacion de los puntos equinocciales resulta de la figura aplanada de la Tierra, que, siendo elevada en el equador puede considerarse como circundada de un anillo que, experimentando las atracciones de los demás planetas y principalmente las del Sol y Luna, debe tener un movimiento de que participa todo el globo, y por consiguiente el equador terrestre. Este movimiento del equador, que hace variar la posicion de los puntos equinocciales es, pues, un efecto de la misma especie que el movimiento de los nodos (*99*); pues es claro, que, si un planeta, girando en el plano

de

de su orbita está incesantemente separado de ella por la atraccion de los demás planetas, las partes de que se compone el anillo del esferoide terrestre, que executan su revolucion con la rotacion diurna, deberán experimentar las mismas perturbaciones por las acciones del Sol y de la Luna. Asi, para tener idéa de la causa física de la precesion de los equinoccios, no hay mas que imaginar, que el anillo que circunda el equador terrestre está compuesto de un gran número de planetas, que verificando su giro en 24 horas al rededor del exe de la Tierra, experimentan en su orbita las acciones de los demás planetas.

432 La comparacion de las observaciones antiguas con las modernas no dexan duda, de que la obliqüidad de la ecliptica disminuye, y aun las observaciones exâctas de nuestros tiempos prueban lo mismo.

La disminucion de la obliqüidad de la ecliptica es de medio segundo cada año con corta diferencia, ó la variacion en este siglo deducida de la teórica por Mr. de la Grange de $56''$: y la obliqüidad media, segun las observaciones del Doctor Bradley reducidas al año de 1750, de $23° 28' 18''$. Pero sobre estas cantidades, como sobre todas las que por su pequeñéz son superiores á los medios que po-

podemos usar para descubrirlas, se encuentra mucha diversidad entre los cálculos y observaciones de los astrónomos.

433 Á primera vista se percibe, que la atraccion de los demás planetas es la causa de la disminucion de la obliqüidad de la ecliptica; pues, resultando de las acciones estrañas una continua alteracion de la orbita de cada planeta, es evidente, que la de la Tierra, sujeta á las mismas leyes, ha de experimentar vicisitudes semejantes.

434 La *aberracion*, explicada felizmente por Bradley, es un movimiento aparente que resulta en las estrellas de la propagacion sucesiva de la luz. Por las observaciones de los satelites de Júpiter se sabe, que el rayo de luz que parte del Sol emplea en llegar á la Tierra mas de ocho minutos. Por donde, como nuestro globo corre tambien en este intervalo un cierto espacio de su orbita, se percibe facilmente, que las apariencias de los astros no pueden ser las mismas que se nos presentarían, si la Tierra estuviese inmovil, ó si la velocidad de la luz fuese infinita. Sea E una estrella que arroja un rayo *Fig. 59.*
de luz, considerado como un corpusculo que se dirige segun ET, BT el espacio que la luz corre en un intervalo determinado, como, por exemplo, de $8' \, 7''$, y TO la porcion de su orbita que la Tier-

ra describe en el mismo tiempo, la qual en aquella suposicion será de 20″. Estas líneas serán propias para expresar las velocidades de la luz y de la Tierra: y se vé, que el corpusculo de luz que concurre con la Tierra en T estará en B quando la Tierra en O. Considerando ahora la velocidad de la luz descompuesta en la BC paralela é igual á la TO, y la BO ó CT, es evidente, que el ojo, no pudiendo recibir impresion alguna de la primera que es igual y en la misma direccion que la de su propio movimiento, solo en virtud de la segunda CT podrá sentir la presencia del objeto E. Asi, la estrella E quedará visible por la CT en lugar de la TE, y su situacion aparente deferirá de la verdadera de un ángulo CTE, que es lo que se llama aberracion: cuyo efecto, que hace parecer la estrella mas adelantada ácia la parte á donde se dirige nuestro movimiento, depende de la relacion entre las velocidades de la luz y de la Tierra. La aberracion es, pues, una ilusion optica que altera las longitudes, latitudes, ascensiones rectas, y declinaciones de los astros: y, deberán atenderse á sus efectos, para corregir las posiciones medias.

435 La *nutacion ó desvío* es otro movimiento aparente, descubierto tambien por Mr. Bradley, Astrónomo real de Inglaterra dichosamente nacido para

ra accelerar los progresos de la Astronomía. La precesion de los equinoccios, procede, como hemos dicho, de la atraccion del Sol y de la Luna en el esferoide de la Tierra; pero, como la Luna es la causa de la mayor parte de los 50″ de aquel movimiento, es claro, que la cantidad de la precesion no puede ser constante ni uniforme; y que, al contrario, la Luna, cuyos nodos mudan de lugar continuamente y cuya inclinacion al equador de donde depende su efecto varía de 10°, ha de producir precisamente, no solo una desigualdad en la precesion anual de los equinoccios, sino una especie de oscilacion ó movimiento en el exe de la Tierra. El periódo de esta nutacion deberá, pues, constar de 18 años, esto es, deberá durar lo mismo que una revolucion de los nodos de la orbita lunar: y su cantidad, deducida de las observaciones, deberá manifestar el efecto de la atraccion de la Luna en el esferoide terrestre. Esta cantidad es de 9″: y, por un efecto de ella, las estrellas se alejan y aproxîman al equador en apariencia, porque el equador en realidad se mueve correspondiendo en el Cielo á diferentes estrellas.

436 Para concebir claramente la explicacion de la nutacion: sea p el polo de la ecliptica, P el del equador á $23°\frac{1}{2}$ del otro: y, al rededor de P co- *Fig. 60.*

como centro y con un radio PA de $9''$, descríbase un círculo $ESE'S'$. En lugar de permanecer fixo el polo en su lugar medio P, se supone que el verdadero polo describe la circunferencia $ESE'S'$, y que, estando en E, quando el nodo de la Luna en el equinoccio de primavera ó en el coluro de los equinoccios ♎ ♈, continúa moviéndose de E á S como el mismo nodo: de modo, que al llegar el polo á A, el arco EA resulta de un número de grados igual al de la longitud actual del nodo de la Luna. Con esto, el lugar del verdadero polo está siempre en el círculo $ESE'S'$ adelantado de tres signos de ascension recta respecto al lugar del nodo de la Luna en la ecliptica, esto es, el polo se hallará, por exemplo en S', quando el nodo en ♋. Y se vé, que, por el movimiento retrogrado de E á S, el polo debe acercarse á las estrellas situadas en el coluro de los equinoccios ♎ P ♈: resultando, que la precesion parezca mas considerable, y que la declinacion de las estrellas del coluro de los equinoccios varíe de $9''$ respecto á la media. La nutacion varía, pues, de la misma cantidad el ángulo de la ecliptica: y se h cha de ver, que sus efectos generales, cuyo cálculo depende de la longitud actual del nodo de la Luna, se extienden á producir alteraciones en las ascensiones rectas, declinaciones, y lon-

longitudes de los astros, quedando únicamente constantes las latitudes, porque en la nutacion se supone inmovil el polo p de la ecliptica.

437 Además de los quatro movimientos considerados, si la distancia de las estrellas á la Tierra no fuese inmensa, deberíamos percibir otras variaciones en sus lugares aparentes, causadas por la paralaxe anual: y el sernos insensible este efecto prueba, que las estrellas se hallan á una distancia inasignable de nosotros. Sea S el Sol, TT′ el diámetro de la orbita terrestre, y E una estrella, situada en el plano ETT′ perpendicular al de la ecliptica TBT′. El ángulo ETC representa la latitud en que se verá la estrella al estar la Tierra en el extremo T, y ET′C la misma latitud al estar la Tierra en el otro extremo T′: y estas latitudes diferirán entre sí de una cantidad igual al ángulo TET′. Las observaciones, pues, habrian dado á conocer esta diferencia, si no fuese muy pequeña, y el no haber podido averiguarla hasta ahora demuestra, que la paralaxe de las estrellas es de ménos de un segundo. En los lugares de las estrellas se notan variaciones que algunos astrónomos habian atribuido á la paralaxe; pero estos fenómenos solo convienen con los de la aberracion, y desde este descubrimiento no queda duda, de que, en quanto á la *Fig.61.*

pa-

paralaxe, las estrellas continúan siempre sensiblemente en el mismo lugar para nosotros.

438 La paralaxe anual nos conduce naturalmente á exâminar la distancia y magnitud real de las estrellas.

Si, suponiendo su latitud de 90° á corta diferencia, el ángulo paralático de una estrella T*e*S fuera de un segundo, el lado *e*T sería 206264 veces mayor que el radio de la orbita TS; de donde resultaría, adoptando la paralaxe solar de 9″ (283), que la distancia de la estrella excede 7214500, millones de leguas españolas. Por lo qual, no llegando la paralaxe de las estrellas á un segundo, su distancia debe ser aun mas considerable.

439 En quanto á la magnitud absoluta, en el dia está probado, que el diámetro aparente de quatro estrellas de primera magnitud, que son Regulo, Aldebarán, la Espiga de la Virgen y Antáres, no llega á un segundo; porque, quando la Luna que gasta unos dos segundos de tiempo en correr un segundo de grado las eclipsa, las estrellas no tardan dos segundos en ocultarse detrás de su disco. Si el diámetro de la estrella fuese igual á la paralaxe anual, el diámetro real de la estrella sería igual al radio de la orbita terrestre: del mismo modo, que si la paralaxe fuese mayor ó menor que el

el diámetro, éste sería ménos ó mas considerable. Pero como, sin idéa exâcta de una ú otra cantidad, ignorámos la relacion de la paralaxe y el diámetro, debe confesarse, que actualmente nos hallamos en una absoluta imposibilidad de decidir sobre este punto, y que su conocimiento será un importante descubrimiento reservado para otros tiempos, si á los astrónomos les es dado en alguno el adquirirlo.

440 El movimiento propio de algunas estrellas fixas, descubierto en Inglaterra, es un movimiento real peculiar á las estrellas en que se observa; porque, si fuese efecto de alguna variedad en la posicion de nuestro globo, la apariencia sería comun á todo el Cielo. Por esto, limitándose el movimiento conocido hasta ahora á muy corto número de estrellas, y siendo su cantidad diferente en cada una, no puede ménos de concluirse, que estas estrellas mudan de lugar en el Universo, en virtud de alguna causa, que puede atribuirse á la atraccion de los cuerpos celestes situados en sus proxîmidades. La cantidad de estas variaciones, que se averigua por las observaciones, ofrece un vasto campo para exercitar la actividad y celo de los astrónomos; pero nosotros, sin apuntar lo poco que hay hecho sobre el asunto, solo dirémos que entre las estre-

llas

llas cuyo movimiento propio se ha observado, se cuentan Arcturo, Syrio, Aldeberán y algunas de la constelacion del Aguila.

441 La luz de las estrellas ofrece un fenómeno que nos las hace distinguir de los planetas, y consiste en una vibracion ó centelléo, sobre cuya explicacion dirémos, ántes de concluir este asunto, una palabra, para quitar la sorpresa con que podria mirarse. La extrema pequeñéz del diámetro aparente se considera como la causa de este fenómeno, y á esta podria añadirse la diferente impresion de la luz en el órgano de la vista. Siendo tan pequeño el diámetro de las estrellas, la menor molecula de vapor que pase entre alguna y nuestro ojo es suficiente para encubrirnos una parte de ella; y de aqui resulta una desaparicion y reaparicion continua, que parece un movimiento vibratorio en la misma luz de aquellos astros.

MÉTODO DE INTERPOLACIONES.

442 En el uso de las observaciones y de las tablas astronómicas es necesario emplear continuamente la regla de tres ó de partes proporcionales, para reducir sus elementos al instante que se apetece; pero, como está operacion se funda en la uni-

uniformidad de las variaciones de los números, la suposicion es freqüentemente falsa, y los resultados inexâctos. Para emendar estos errores, se recurre al método de las interpolaciones, que consiste en la resolucion de un problema general considerado por Newton, cuyo enunciado es este: *Dadas dos series de números que se correspondan mutuamente segun una cierta ley, de las qüales la una se llame la serie de las funciones, y la otra la serie de las raíces, hallar un número entre dos raíces correspondiente á un número dado entre dos funciones, ó al contrario.* Mr. la Caille, siguiendo las fórmulas de Mr. Mayer, ha tratado este asunto muy generalmente en sus Lecciones de Astronomía; pero Mr. de la Lande, en las Memorias de la Academia, se ha contentado con considerar las interpolaciones de un modo mas cómodo aunque ménos general, por medio de las diferencias primeras, segundas y terceras. En los usos ordinarios no se necesitan métodos mas precisos, y aun basta limitarse á las segundas diferencias, como hace Mr. de la Lande en su Astronomía. Asi, este caso es el único de que hablarémos, contrayéndonos á un exemplo del cálculo del lugar de la Luna, que es lo mas necesario en las aplicaciones á que intentámos apropiar estos principios.

443 Representen las líneas CD, EF, GH, *Fig. 62.*

KL quatro longitudes de la Luna, correspondientes á quatro épocas separadas por intervalos de tiempo iguales entre sí CE, EG, GK, y supongamos, que la época de GH sea la mas próxîma al instante en que quiere tenerse el lugar de la Luna. Expresando ahora por l la longitud correspondiente á G, y distinguiendo en positivas las cantidades contadas de G ácia B, y en negativas las de G ácia A, es evidente: que, si la longitud de la Luna variase uniformemente con la velocidad v, su longitud L despues de un tiempo t contado desde G sería igual á $l+tv$. Pero, como esta velocidad es variable, supongamos, que sus variaciones son proporcionales á los tiempos, lo que no acarreará grandes errores en cortos intervalos, y entonces la velocidad podrá expresarse por $V+tx$, y resultará la longitud $L=l+tV+t^2x$.

Para determinar ahora los valores de las desconocidas V, x, sean l', l'', l''', l'''' las longitudes CD, EF, GH, KL: y representando por la unidad cada uno de los intervalos de tiempo iguales CE, EG, GK, las abcisas, cuyo origen es G, correspondientes á las longitudes, serán -2, -1, 0, 1; de donde, substituyendo en la equacion antecedente resulta:

$$l'=l-2V+4x$$

l''

$$l'' = l - V + x$$
$$l''' = l$$
$$l'''' = l + V + x$$

y tomando ahora sus *primeras diferencias*:

$$l'' - l' = V - 3x$$
$$l''' - l'' = V - x$$
$$l'''' - l''' = V + x$$

y tomando las *segundas diferencias*, ó las diferencias de las primeras diferencias:

$$(l''' - l'') - (l'' - l') = 2x$$
$$(l'''' - l''') - (l''' - l'') = 2x$$

Lo que manifiesta, que si la velocidad de la Luna fuese uniformemente accelerada, las segundas diferencias deberían ser iguales entre sí; y que por consiguiente, desviándose de esta igualdad muy poco, en lugar de x deberá tomarse un medio entre los valores resultantes de ambas equaciones, ó la quarta parte de la suma de las dos segundas diferencias. Representando, pues, esta cantidad media por m tendrémos $x = m$, y por consiguiente $V = l'''' - l''' - m$, y $L = l + t\,l'''' - t\,l''' - t\,m + t^2 m$, ó $L = l + (l'''' - l''')t - (1 - t)tm$; ó, tomando el interválo de doce horas por unidad de tiempo, y expresando el tiempo en horas, $L = l + (l'''' - l''') \times \frac{t}{12} - \frac{tm}{12} \times \frac{12 - t}{12}$.

De esta equacion resulta la siguiente regla para calcular el lugar de la Luna á qualquier instante, esto es, su longitud, latitud, ascension recta, ó declinacion, por medio de las efemerides, que como el Conocimiento de los tiempos y Almanak naútico, contienen estos elementos de doce en doce horas.

Tómense en las efemérides las dos longitudes (y lo mismo deberá observarse con la latitud, ascension recta, ó declinacion, quando sea alguno de estos elementos el que se busque) *correspondientes á las dos épocas que preceden, y las dos longitudes correspondientes á las que siguen inmediatamente al instante determinado. Tómense sus diferencias consecutivas* (que llamámos primeras diferencias): *tómense tambien las diferencias de estas diferencias* (ó segundas diferencias): *y tengase cuidado de tomar estas diferencias en el mismo órden que las primeras, de modo, que si éstas, en lugar de ir aumentando, fuesen disminuyendo, deberán distinguirse con el signo* —, *y con el signo* + *en el caso contrario. Tómese despues la quarta parte de la suma de las dos diferencias segundas, ó de su diferencia si tienen signos contrarios: multiplíquese por* $\frac{1}{12}$ *del interválo de tiempo entre el instante á que se refiere el cálculo y la época precedente mas próxîma: multiplíquese el producto por* $\frac{1}{12}$ *del interválo de tiempo entre el mismo instante y la época siguiente mas próxîma;*

y

y ésta será la correccion que deberá aplicarse á la longitud deducida por la simple regla de proporcion. La correccion será substractiva ó aditiva, segun las diferencias segundas tengan ambas el signo + ó el signo —, ó segun la que tenga el signo + sea mayor que la que tenga el signo —, ó al contrario.

444 En la coleccion de tablas darémos algunos exemplos de este método, y una tabla para hallar los resultados sin el trabajo de hacer el cálculo.

ALGUNAS PROPOSICIONES de Trigonometría esférica.

445 Las siguientes proposiciones de Trigonometría esférica son útiles en la Astronomía, y en el segundo Libro tendrémos ocasion de manifestar algunas de sus aplicaciones.

446 *En un triángulo esférico* ABC, *para expresar el ángulo* A *en valores del ángulo* C, *y de los lados* BC *y* CA, *se tiene tang.* A= Fig. 63.

$$= \frac{sen\,C}{sen\,AC \times cotang\,BC - cos\,AC \times cos\,C}.$$

Tirando desde B el arco BD perpendicular á AC, resulta, por una propiedad fundamental de los triángulos esféricos, tang. A: tang. C = sen CD: sen

sen AD, ó $\text{tang } A = \frac{\text{tang } C \times \text{sen } CD}{\text{sen } AD}$. Pero sen AD $=$ sen (AC $-$ CD) $=$ sen AC $\times$ cos CD $-$ sen CD $\times$ cos AC, ó $\frac{\text{sen } AD}{\text{sen } CD} = \frac{\text{sen } AC}{\text{tang } CD} - \cos AC$, y tang CD : tang BC $=$ cos C : 1, ó tang CD $=$ tang BC $\times$ cos C; luego $\frac{\text{sen } AD}{\text{sen } CD} = \frac{\text{sen } AC}{\text{tang } BC \times \cos C}$ $- \cos AC = \frac{\text{sen } AC - \cos AC \times \text{tang } BC \times \cos C}{\text{tang } BC \times \cos C}$; y, substituyendo este valor en la primera equacion

$$\text{tang } A = \frac{\text{tang } C \times \text{tang } BC \times \cos C}{\text{sen } AC - \cos AC \times \text{tang } BC \times \cos C},$$ ó

$$\text{tang } A = \frac{\text{sen } C \times \text{tang } BC}{\text{sen } AC - \cos AC \times \text{tang } BC \times \cos C}$$

$$= \frac{\text{sen } C}{\text{sen } AC \times \text{cotang } BC - \cos AC \times \cos C}.$$

447 *En el triángulo* ABC *se tiene tambien*

$$\cos B = \frac{\cos AC - \cos AB \times \cos CB}{\text{sen } AB \times \text{sen } CB}.$$

Por medio de la perpendicular AE, es cos CE : cos BE $=$ cos AC : cos AB, y cos AC $= \frac{\cos CE \times \cos AB}{\cos BE}$. Pero cos CE $=$ cos (CB$-$BE) $=$ cos CB $\times$ cos BE $+$ sen CB $\times$ sen BE; luego cos AC

$=$cos

$$= \frac{\cos CB \times \cos BE \times \cos AB + \operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} BE \times \cos AB}{\cos BE}$$

$= \cos CB \times \cos AB + \operatorname{sen} CB \times \cos AB \times \operatorname{tang.} BE$;

y siendo tangen $BE = \cos B \times$ tangen $AB = \cos B \times \frac{\operatorname{sen} AB}{\cos AB}$, resultará $\cos AC = \cos CB \times \cos AB + \operatorname{sen} CB \times \cos B \times \operatorname{sen} AB$; y por consiguiente $\cos B = \frac{\cos AC - \cos CB \times \cos AB}{\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB}$.

448 *En el mismo triángulo, se tiene sen* $CB \times$ *sen* $AB : 1 =$ *sen verso* $AC -$ *sen verso* $(CB - AB)$: *sen verso* B.

La penúltima fórmula del párrafo antecedente se reduce á $- \operatorname{sen} CB \times \cos B \times \operatorname{sen} AB = \cos CB \times \cos AB - \cos AC$, ó lo que es lo mismo á $\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB - \operatorname{sen} CB \times \cos B \times \operatorname{sen} AB = \operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB + \cos CB \times \cos AB - \cos AC$. Y siendo $\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB + \cos CB \times \cos AB = \cos (CB - AB)$, resulta $\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB (1 - \cos B) = \cos (CB - AB) - \cos AC$, ó $\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB : 1 = \cos (CB - AB) - \cos AC : 1 - \cos B$; de donde se deduce, $\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} AB : 1 =$ sen verso $AC -$ sen verso $(CB - AB)$: sen verso B.

449 Quando en la resolucion de un problema se busca un coseno muy grande por medio de uno muy

muy pequeño, el resultado está expuesto á alguna inexâctitud; y por esta razon, lo mejor será recurrir á la fórmula de Mr. Murdoch que lo expresa en senos.

La fórmula en el triángulo ABC *es* $sen^2 \frac{1}{2}$ AB $= sen$ CB $\times sen$ AC $\times sen^2 \frac{1}{2}$ C $+ sen^2 \frac{1}{2}$ (AC$-$CB).

Fig. 64. Para demostrarla: prolongando los dos lados AC, CB, tómese CD=CB, CG=CA, y CE=CF=90°: y de los puntos E, A, D, F, G, B tírense las perpendiculares EL, AK, DH, LF, KG, HB á la comun seccion de los planos CDAE, CBGF, ó diámetro de la esfera CHKL. Estas perpendiculares, siendo cada una igual á su correspondiente, por ser senos de arcos iguales, formarán, con las líneas EF, AG, DB tres triángulos isosceles semejantes ELF, AKG, DHB: los quales darán estas proporciones EF : EL = DB : DH, y EF : EL = AG : AK; de donde se sigue $DB = \frac{EF \times DH}{EL} = 2 \text{ sen } \frac{1}{2} C \times \text{sen}$

CB, y $AG = \frac{EF \times AK}{EL} = 2 \text{ sen } \frac{1}{2} C \times \text{sen } AC$.

Pero tirando las líneas DA, BG, y las diagonales AB, DG, tenemos en el quadrilatero DAGB, $AD^2 + DB \times AG = AB^2$; luego, $4 \text{ sen}^2 \frac{1}{2} (AC-CB) + 4 \text{ sen}^2 \frac{1}{2} C \times \text{sen } CB \times \text{sen } AC = 4 \text{ sen}^2 \frac{1}{2} AB$, y por consiguiente $\text{sen}^2 \frac{1}{2} AB = \text{sen}^2 \frac{1}{2} (AC-CB) + \text{sen}^2 \frac{1}{2} C \times \text{sen } CB \times \text{sen } AC$.

ANA-

ANALOGÍAS DIFERENCIALES de los triángulos esféricos.

450 Aunque en nuestras operaciones nos propongamos la mayor precision, y caminémos con una atencion tan escrupulosa, como si esperásemos no engañarnos absolutamente, es necesario conocer, que la imperfeccion de nuestros sentidos, y los defectos de los instrumentos de que nos servimos para ensanchar sus límites, son otras tantas causas irremediables, que al fin nos precipitan en equivocaciones mas ó ménos graves. Los errores de los varios elementos que entran en una misma qüestion pueden á la verdad corregirse mutuamente; pero esta esperanza, que será vana las mas veces, no autoriza la inaccion: y el observador solo deberá contentarse con el grado de exâctitud que obtenga, quando esté seguro de haber indagado y elegido las circustancias en que los errores inevitables los producen menores en las conseqüencias. Para esto es indispensable, exâminarlos desde el origen, y seguirlos segun se propagan, exâminando sus efectos en cada parte de la operacion, hasta el último resultado. Y esta precaucion es sobre todo indispensable, para hacer un uso acertado de los problemas astronómicos.

En los resueltos por trigonometría esférica deberá, pues, averiguarse el influxo que tienen en los resultados los errores en que los datos pueden estár envueltos. Por este método saldrá en claro facilmente la confianza que merecen las conseqüencias deducidas de las observaciones, alteradas por inexâctitudes cuyos límites se conocen: y el mismo deberá dirigir la eleccion del método que sea preferible, para resolver una qüestion, quando hay varios que conducen al fin propuesto. Recurriendo al cálculo diferencial, las investigaciones sobre este punto se reducen, á exâminar los efectos que las cortísimas diferencias que se suponen en los datos producen en las demás partes del triángulo esférico que se buscan por su medio. Y estas reglas, no solo son útiles para conocer las circunstancias mas favorables ó contrarias á ciertas observaciones, sino tambien para reducir á un mismo instante las observaciones hechas dentro de interválos muy cortos. Por esta razon nos ha parecido oportuno exponer los principios de las fórmulas diferenciales, que á imitacion de las del Caballero Rogero Cotes, se hallan con mucha extension en la Astronomía de Mr. de la Lande y en la de Mr. de la Caille, ciñéndonos á las proposiciones fundamentales y á las que nos son mas necesarias: sin detenernos en el modo de aplicarlas, que se ocur-

ocurre á primera vista, y de que ya hemos apuntado algunos casos.

451 Si se concibe, que, variando el triángulo ABC de una cantidad muy corta, resulta otro triángulo ADC, la diferencia de cada parte de éste á la correspondiente del primero es lo que llamarémos *diferencial*. Y asi, d AB expresará la diferencia entre los lados AD, AB, y d ABC la diferencia entre los ángulos ADC, ABC. Pero advirtiendo, para el uso de las siguientes proporciones, que las diferencias supuestas deben ser tales, que, sin error sensible, pueda considerarse el seno de la diferencia igual al mismo arco, y su coseno tomarse por el radio. *Fig. 65.*

452 Esto sentado, principiarémos por considerar las relaciones de las diferenciales de los mismos arcos con las de sus senos, cosenos, tangentes y cotangentes. Y suponiendo despues, que dos partes del triángulo esférico son constantes, buscarémos las relaciones entre las diferencias de los demás lados ó ángulos variables: indicando por último el método de hallar la diferencial de cada parte, quando se supone que el todo es variable.

453 *La diferencial de un arco, es á la diferencial de su seno: como la unidad* (que tomarémos siempre por el radio), *al coseno del mismo arco. Y la di-*

ferencial del arco, es á la diferencial del coseno (tomado negativamente): *como el radio, al seno del mismo arco.*

Fig. 66. La diferencial Aa del arco AB puede considerarse como una línea recta, y por consiguiente, tirados los senos ó perpendiculares am, AM, á CB, la pequeña perpendicular an á AM, y el radio CA, se tendrán dos triángulos semejantes anA, CAM, que dán estas dos proporciones Aa: An=AC: CM, y Aa: an=AC: AM, esto es, dAB : d sen AB=1 : cos AB, y (poniendo el signo — á las diferenciales que disminuyen ó aumentan las cantidades de que dependen en sentido opuesto á la variacion del arco) dAB: — d cos AB = 1 : sen AB.

454 *La diferencial de un arco, dividida por el quadrado de su coseno, es igual á la diferencial de la tangente. Y la diferencial de un arco, dividida por el quadrado de su seno, es igual á la diferencial de la cotangente, tomada negativamente.*

Tirando las secantes Ct, CT que determinan las tangentes Bt, BT, y la perpendicular tp á Ct, se tienen dos triángulos semejantes ptT, CAM: y en ellos tT : tp=CA : CM, ó $t\mathrm{T}=\frac{tp\times \mathrm{CA}}{\mathrm{CM}}=\frac{tp}{\cos \mathrm{AB}}$.

En los triángulos CAa, Cpt es tambien CA : Aa =Cp:

$= Cp : pt$, ó $pt = \frac{Aa \times Cp}{CA} = dAB \times \sec AB$, y $CM : CA = CB : CT$, ó $\cos AB : 1 = 1 : \sec AB$; luego $\sec AB = \frac{1}{\cos AB}$, y por consiguiente $pt = dAB \times \frac{1}{\cos AB}$, y $tT = d \tan AB = \frac{dAB}{\cos^2 AB}$; que es la primera parte de la proposicion.

Por lo dicho es tambien claro, que d tang $DA = \frac{dDA}{\cos^2 DA}$, ó lo que es lo mismo, $-d$ cotang. $AB = \frac{dAB}{\text{sen}^2 AB}$.

455 *En todo triángulo esférico* ABC: *si el ángulo* C *y el lado opuesto* AB *son constantes, la diferencial de uno de los otros dos ángulos* B, *es á la del lado que le está opuesto* AC: *como la tangente del mismo ángulo* B, *á la tangente del mismo lado* AC. Fig. 67.

Suponiendo, que el triángulo aCb sea el que resulta de las variaciones infinitamente pequeñas de los lados CB, CA, de modo que ab sea igual á AB, tendrémos, por las reglas comunes de la Trigonometría esférica, sen B: sen AC = sen C : sen AB; de lo que se sigue, que, siendo los dos últimos términos constantes, la razon de sen B á sen AC es tambien

bien constante, y que d sen B : d sen AC = sen C : sen AB. Pero (453), d sen B = dB × cos B, y d sen AC = dAC × cos AC; luego dB × cos B : dAC × cos AC = sen C : sen AB = sen B : sen AC; y por consiguiente $dB : dAC = \frac{\text{sen B}}{\text{cos B}} : \frac{\text{sen AC}}{\text{cos AC}}$, esto es, dB : dAC = tang. B : tang. AC.

456 *En la misma suposicion de que un lado* AB *y el ángulo opuesto* C *sean constantes: la diferencial de uno de los lados variables* AC, *es á la diferencial del otro lado* CB : *como el coseno del ángulo* B *opuesto al primer lado* AC, *al coseno del ángulo* A *opuesto al segundo lado* CB.

Debiéndose cortar, por la suposicion de ser iguales, los dos lados AB, ab en un punto dentro ó fuera del triángulo, descríbase desde el punto de interseccion E, y por los puntos A, B, los pequeños arcos An, Bm, que, determinando los arcos En, Em iguales á EA, EB, harán, por consiguiente, las diferencias bm, an iguales. Asi, teniendo en los pequeños triángulos rectilíneos Aan y Bbm, Aa : an = 1 : sen aAn (= cos Aan = cos CAB), y Bb : bm (= an) = 1 : sen bBm (= cos ABC), resulta Aa × cos CAB = an, y Bb × cos ABC = an; y por consiguiente Aa × cos CAB = Bb × cos ABC, esto es, Aa : Bb = cos ABC : cos CAB, ó lo que es lo mismo,

dAC

$dAC : dCB =$ cos ABC : cos CAB.

457 *En la misma suposicion de ser un lado* AB *y el ángulo opuesto* C *constantes : la diferencial del ángulo* B, *es á la diferencial de* A, *como el coseno del lado* AC *opuesto al ángulo* B, *al coseno del lado* CB *opuesto al ángulo* A.

Describiendo el triángulo FDE suplementar al ACB, se tendrán el ángulo D y el lado FE constantes, y por consiguiente (456), $dFD : dDE =$ cos E : cos F; cuya proporcion, substituyendo los suplementos de sus términos, se reduce á $dB : dA$ = cos AC : cos CB. Fig. 68.

458 *En la misma suposicion de ser un lado* AB *y el ángulo opuesto* C *constantes : la diferencial de uno de los lados variables* AC, *es á la diferencial del ángulo* A *adyacente á este lado : como el seno del mismo lado* AC, *á la tangente del ángulo* B *opuesto á este lado multiplicada por el coseno del tercer lado* CB.

En el triángulo ACB, se tiene (455), $dAC : dB =$ tang AC : tang B, y (457), $dB : dA =$ cos AC : cos CB; y por consiguiente $dAC : dA$ = sen AC : tang B $\times$ cos CB.

459 *En un triángulo esférico* ACB, *quando un lado* AC *y el ángulo adyacente* A *son constantes: la diferencial del otro lado* AB *adyacente al ángulo constante, es á la diferencial del lado opuesto* CB : *co-* Fig. 69.

mo

mo el radio, al coseno del ángulo B *opuesto al lado constante.*

Sea ACb el triángulo que resulta de la corta variacion del primitivo ACB, hágase $Cm = CB$, y tírese el pequeño arco Bm perpendicular á Cb. Con esto tendrémos un pequeño triángulo rectángulo Bbm, que puede considerarse como rectilíneo: y en el $Bb : bm = 1 : \text{sen } mBb$. Pero, por razon de ser muy cortas las diferencias entre las partes de los triángulos ACb, y ACB, el ángulo CBm es recto, y por consiguiente CBA complemento de mBb; luego, substituyendo las correspondientes expresiones en la proporcion anterior resulta $dAB : dCB = 1 : \cos B$.

460 *En la misma suposicion de ser constantes un lado* AC*, y un ángulo adyacente* A*: la diferencial del ángulo* C *adyacente al lado constante, es á la diferencial del ángulo opuesto* B*: como el radio, al coseno del lado* CB *opuesto al ángulo constante.*

Fig. 68. Describiendo el triángulo FDE suplementar al ACB, se tiene (459), $dEF : dDF = 1 : \cos F$; y, substituyendo los suplementos, $dC : dB = 1 : \cos CB$.

461 *En la misma suposicion de tener en el triángulo* ACB *un ángulo* A *y el lado* AC *adyacente constantes: la diferencial del ángulo* C *adyacente al lado constante, es á la diferencial del lado opuesto* CB *al*

al ángulo constante : como la tangente del ángulo B *opuesto al lado constante , al seno del lado* CB *opuesto al ángulo constante.*

Prolongando los lados CB , Cb , hasta hacer los arcos CD, Cd iguales cada uno á 90°, el arco Dd será la medida del pequeño ángulo BCb, ó de la diferencial del ángulo ACB ; y tirando el arco Bm perpendicular á Cb tendrémos , Dd : Bm= 1 : sen CB , pero bm : Bm=1 : tang Bbm (=tangCBA); luego Dd : bm =tang CBA : sen CB , esto es, dC: dCB=tang CBA : sen CB.

462 *En un triángulo* ACB$'$, *siguiendo la suposicion de que un lado* AC , *y un ángulo adyacente* A *sean constantes , la diferencial del lado variable* AB$'$ *adyacente al ángulo constante , es á la diferencial del ángulo* B$'$ *opuesto al lado constante : como la tangente del lado* CB$'$ *opuesto al ángulo constante , al seno del ángulo* B$'$ *opuesto al lado constante.*

Sea T el centro de la esfera , y tírense las dos tangentes B$'n$, $b'n$, que formarán un ángulo B$'nb'$ igual á la diferencia de los ángulos Cb'A y CB$'$A , ó diferencial de CB$'$A. Tirando tambien la pequeña perpendicular B$'m'$ y los radios TB$'$, Tm', se tendrá en el triángulo rectilíneo B$'m'b'$, B$'m'$=B$'b'$× sen B$'b'm'$; pero B$'m'$, es la medida del ángulo B$'$Tm', y este ángulo es al otro B$'nm'$, como B$'n$ á B$'$T , ó = tang

CB' : 1; luego $B'b' \times$ sen $B'b'm'$: $B'nm'$ = tang CB' : 1, y por consiguiente $B'b'$: $B'nm'$ = tang CB' : sen $B'b'm'$ (= $CB'A$), ó lo que es lo mismo, dAB' : dB' = tang CB' : sen B'.

463 *En la misma suposicion de ser el lado* AC, *y el ángulo adyacente* A *constantes: la diferencial del ángulo* C *adyacente al lado constante, es á la del lado* AB *adyacente al ángulo constante: como el seno del ángulo* B *opuesto al lado constante, al seno del lado* CB *opuesto al ángulo constante.*

Siendo en el triángulo rectílineo Bbm, por razon de la pequeña perpendicular Bm á Cb, el ángulo mBb complemento de CBA, y por consiguiente Bbm = ABC, se tiene Bm : Bb = sen Bbm (= sen ABC) : 1, y Bm = $Bb \times$ sen ABC. Pero (461) tambien Bm = $Dd \times$ sen CB; luego $Bb \times$ sen ABC = $Dd \times$ sen CB, y por consiguiente Dd : Bb = sen ABC : sen CB, ó lo que es lo mismo, dC : dAB = sen B : sen CB.

464 *Continuando la misma suposicion de un lado* AC, *y un ángulo* A *adyacente constantes: la diferencial del ángulo* B *opuesto al lado constante, es á la diferencial del lado* CB *opuesto al ángulo constante: como la tangente de aquel ángulo* B, *á la tangente de este lado* CB.

Por las reglas comunes de la Trigonometría esférica, se tiene sen A : sen CB = sen B : sen AC, y y de aquí resulta, que, siendo los dos términos extremos constantes, los dos del medio y sus diferenciales están siempre con ellos en razon inversa; y que asi d sen B : d sen CB = sen B : sen CB. Pero (453), d sen B = d B × cos B, y d sen CB = d CB × cos CB, luego d B × cos B : d CB × cos CB = sen B : sen CB, de que se infiere $dB : dCB = \frac{\text{sen}\,B}{\cos B} : \frac{\text{sen}\,CB}{\cos CB}$, ó lo que es lo mismo, $dB : dCB$ = tang B : tang CB.

465 *Quando en un triángulo esférico se tienen dos lados* CB, AC *constantes: la diferencial del ángulo comprehendido* C, *es á la diferencial de uno de los otros ángulos* A: *como el seno del tercer lado* AB, *al seno del lado* CB *opuesto al ángulo* A, *multiplicado por el coseno del tercer ángulo* B.

Siendo ACD el triángulo que resulta de las variaciones del ACB, de modo que, teniendo ambos un lado comun AC, los dos lados CD, CB son iguales, concíbanse prolongados los arcos CB, CD, y AB, AD hasta que sean $Cp = Cq = Ao = Am = 90°$, y tírese la perpendicular Bm á ABm. En esta disposicion, tendrémos pq : BD = 1 : sen CB, y BD : Bm = 1 : cos mBD (= cos ABC); de donde se sigue pq : Bm = 1 : sen CB × cos ABC. Pero Fig. 65.

 Bm

$Bm = mo \times$ sen AB ; luego , $pq : mo \times$ sen AB $= 1$: sen CB $\times$ cos ABC , y $pq : mo =$ sen AB : sen CB $\times$ cos ABC ; y atendiendo últimamente á que los arcos pq , mo miden los pequeños ángulos BCD, BAD en que varían los ACB , CAB , aquella proporcion podrá expresarse de este modo , $dC : dA$ $=$ sen AB : sen CB $\times$ cos B.

466 *Continuando en suponer constantes dos lados* AC , CB : *la diferencial del ángulo comprehendido* C, *es á la diferencial del lado* AB *que le está opuesto : como el radio , al seno de uno qualquiera de los otros dos ángulos , como por exemplo* B , *multiplicado por el seno del lado constante* CB *contiguo á este mismo ángulo.*

pq : BD $= 1$: sen CB , y BD : mD $= 1$: sen mBD ($=$ sen ABC) ; luego $pq : m$D $= 1$: sen CB $\times$ sen ABC , esto es , $dC : d$AB $= 1$: sen CB $\times$ sen ABC.

467 *En la misma suposicion de ser constantes dos lados* AC , CB : *la diferencial de uno qualquiera de los ángulos opuestos á los lados constantes , por exemplo* A, *es á la diferencial del tercer lado* AB : *como el radio , á la tangente del ángulo* B *opuesto al otro lado constante* AC , *multiplicada por el seno del lado variable* AB.

Por la construccion de la figura 65 , tenemos mo : B$m = 1$: sen AB , y mB : mD $= 1$: tang mBD

($=$tang

(=tang ABC); de donde resulta $mo : mD = 1 :$ tang $ABC \times$ sen AB, ó lo que es lo mismo, $dA :$ $dAB = 1 :$ tang $B \times$ sen AB.

468 *Continuando la suposicion de ser constantes dos lados* AC, CB: *las diferenciales de los ángulos* B, A *opuestos á los lados constantes, son entre sí, como las tangentes de estos mismos ángulos.*

Siendo la razon entre los senos de los ángulos opuestos á los lados constantes precisamente constante, las diferenciales de estos senos son como los senos mismos, y por consiguiente d sen A : d sen B = sen A : sen B. Pero (453), d sen $A = dA \times \cos A$, y d sen $B = dB \times \cos B$; luego $dA \times \cos A : dB \times \cos B =$ sen A : sen B, y por consiguiente $dA : dB$ $= \frac{\text{sen } A}{\cos A} : \frac{\text{sen } B}{\cos B}$, ó lo que es lo mismo, $dA :$ $dB =$ tang A : tang B.

469 *Suponiendo constantes dos ángulos* C, B, *de un triángulo* ACB: *la diferencial del lado* CB *comprehendido entre los dos ángulos constantes, es á la diferencial de uno qualquiera de los otros lados, por exemplo* AB: *como el seno del tercer ángulo* A, *al seno del ángulo* C *opuesto al mismo lado, multiplicado por el coseno del tercer lado* AC.

En el triángulo FDE suplementar al dado ACB, *Fig.* 68.
los dos lados FE, FD son por suposicion constantes;

tes, y por consiguiente (465), $dF : dD$=sen DE : sen FE × cos E ; cuya proporcion se reduce á $dCB : dAB$=sen A : sen C × cos AC.

470 *Siguiendo la suposicion de ser dos ángulos* C, B *constantes: la diferencial del lado* CB *comprehendido entre los dos ángulos, es á la diferencial del ángulo* A *opuesto á este lado: como el radio, al producto del seno de uno qualquiera de los otros lados, por exemplo* AB, *por el seno del ángulo constante* B *adyacente al mismo lado.*

En el triángulo FDE suplementar al dado (466), por ser constantes los dos lados FE, FD, se tiene $dF : dDE = 1$: sen D × sen DF ; cuya proporcion, substituyendo los términos correspondientes del triángulo ACB, se reduce á $dCB : dA = 1$: sen AB × sen B.

471 *Continuando en suponer constantes dos ángulos* C, B: *la diferencial de uno de los lados* AB *opuestos á los ángulos constantes, es á la diferencial del tercer ángulo* A: *como el radio, al producto de la tangente del lado* AC *opuesto al otro ángulo constante, por el seno del tercer ángulo* A.

Por ser constantes los lados FD, FE del triángulo suplementar FDE, se tiene (467), $dD : dDE = 1$: tang E × sen DE, ó lo que es lo mismo, $dAB : dA = 1$: tang AC × sen A.

Su-

472 *Suponiendo todavia constantes dos ángulos* C, B, *de un triángulo* ACB: *las diferenciales de los lados opuestos* AB, AC, *son entre sí, como las tangentes de los mismos lados.*

Siendo el triángulo FDE suplementar al dado ACB, sus lados FE, ED son constantes, y por consiguiente (468), $dD : dE = \text{tang } D : \text{tang } E$, de que resulta $dAB : dAC = \text{tang } AB : \text{tang } AC$.

473 En las aplicaciones de estas analogías, es necesario tener particular cuidado con el signo que deba ponerse á cada término de los que entran en ellas: cuyo signo indica la naturaleza del efecto que resulta en la cantidad principal, de la diferencial ó variacion que la modifica. Habiendo convenido, por exemplo, en distinguir con el signo + toda diferencial ó variacion que aumente la cantidad de que depende, deberá ponerse el signo — á toda diferencial que obre en sentido contrario ó disminuya su cantidad respectiva, segun ya executámos (453).

474 Las proporciones antecedentes, que manifiestan las alteraciones que resultan en todas las demás partes de un triángulo quando dos de ellas son constantes, bastan tambien para determinar las variaciones que suceden, en el caso de suponer todo el triángulo variable. Si tres partes de un triángulo esférico varían, es claro, que ninguna de las de-

demás podrá continuar constante; y que, determinado un nuevo triángulo por las tres partes modificadas, en las otras ocurren tambien alteraciones, que proceden precisamente de las primeras. Por esto, supuestas las diferenciales de tres partes, las demás tienen una cierta relacion con ellas, y no pueden ser arbitrarias. La diferencial de una de estas partes, asignadas ya las otras, ha de hallarse, pues, por el cálculo: y su cantidad total depende de la combinacion del efecto particular que resulta en dicha parte de la variacion supuesta en cada una de las otras.

La variacion total, resultante de las variaciones de muchas cantidades, debe ser tal, que, suponiendo nulas todas las variaciones ménos una qualesquiera, su valor se reduzca precisamente al simple de esta última. Esto solo puede verificarse, constando de la suma de todas las variaciones parciales, tomadas con los convenientes signos; y de aqui se sigue: *que, conociendo las variaciones ó diferenciales de tres partes de un triángulo esférico, se hallará la variacion total que debe ocurrir á qualquiera de las otras tres, por la siguiente regla:*

Suponganse constantes, sucesivamente dos á dos, las tres partes cuyas variaciones se conocen: y calculese, con la variacion de la tercera, la variacion par-

particular que en esta suposicion resulta, por las fórmulas antecedentes, á la parte cuya variacion total se busca. Súmense las tres variaciones particulares deducidas separadamente, con el signo que corresponde á cada una: esto es, tómese la suma de las tres variaciones precedidas del signo comun si todas tienen el mismo, ó la diferencia entre la suma de las dos que tengan el mismo signo y la otra que lo tiene diferente, con el signo de la cantidad mayor; y el resultado será la variacion total que se desea.

475 Substituyendo en las analogías diferenciales dadas las diferentes expresiones que representan las cantidades de que constan, pueden tenerse un gran número de fórmulas muy útiles para la resolucion de varios problemas astronómicos: y de ellas damos como exemplos las siguientes, cuyo uso ya hemos indicado ó indicarémos.

476 *En un triángulo* ACB, *cuyo lado* AB *es de* 90°, *se tiene, suponiendo* AC *y* CB *constantes*,

$$dC = \frac{dAB}{\sqrt{(sen^2 CB - cos^2 AC)}}.$$

Elevando el arco BH perpendicular á AB, A será su polo; y por consiguiente, prolongando AC, AH=90°, y en el triángulo CBH sen CB : 1 =sen CH (= cos AC) : sen CBH (= cos CBA). Fig. 65.

De esto se sigue, que $\cos CBA = \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} CB}$, y sen $CBA = \sqrt{\left(1 - \frac{\cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}$; pero (siguiendo la construccion del §. 465) $BD : Dm = 1 : \operatorname{sen} mBD$ ($=$sen CBA) ó $BD = \frac{dAB}{\operatorname{sen} CBA}$, luego $BD = \frac{dAB}{\sqrt{\left(1 - \frac{\cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}}$; y, siendo $BD = pq \times \operatorname{sen} CB = dC \times \operatorname{sen} CB$, tambien $dC \times \operatorname{sen} CB = \frac{dAB}{\sqrt{\left(1 - \frac{\cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}}$; de donde resulta $dC = \frac{dAB}{\operatorname{sen} CB \sqrt{\left(\frac{\operatorname{sen}^2 CB - \cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}}$, ó lo que es lo mismo, $dC = \frac{dAB}{\sqrt{(\operatorname{sen}^2 CB - \cos^2 AC)}}$.

477 La primera expresion de la fórmula que acabamos de hallar es mas cómoda, para hacer uso de los logarithmos en sus aplicaciones; porque, dando $dC = \frac{dAB}{\operatorname{sen} CB \sqrt{\left(1 - \frac{\cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}}$, puede tomarse un arco M, tal que sea $\operatorname{sen} M = \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} CB}$, y bus-

buscando su coseno, se tendrá la fórmula $dC = \frac{dAB}{\text{sen}\,CB \times \cos M}$.

478 *Siendo constantes los dos lados* AC, *y* CB *de un triángulo* ACB, *se tiene esta equacion*, $dA : dAB = \frac{\text{cotang}\,AC}{\text{sen}\,A} - \frac{\text{cotang}\,AB}{\text{tang}\,A} : 1$.

Por el párrafo 467, tenemos $dA : dAB = 1 : \text{tang}\,CBA \times \text{sen}\,AB$, y por consiguiente $dA : dAB = \text{cotang}\,CBA : \text{sen}\,AB$. Asi $\text{cotang}\,CBA$

$$= \frac{1}{\text{tang}\,CBA} = \frac{1}{\frac{\text{sen}\,A}{\text{sen}\,AB \times \text{cotang}\,AC - \cos AB \times \cos A}}$$

$$= \frac{\text{seno}\,AB \times \text{cotangente}\,AC - \text{coseno}\,AB \times \text{coseno}\,A}{\text{sen}\,A}$$

$= \frac{\text{sen}\,AB \times \text{cotang}\,AC}{\text{sen}\,A} - \frac{\cos AB}{\text{tang}\,A}$; y substituyendo $dA : dAB = \frac{\text{cotang}\,AC}{\text{sen}\,A} - \frac{\text{cotang}\,AB}{\text{tang}\,A} : 1$.

479 *En un triángulo* ACB, *donde se suponen constantes dos lados* AC, CB *y el tercero* AB *de* 90°, *se tiene esta equacion* $dA = \frac{dAB \times \cos AC}{\sqrt{(\text{sen}^2 CB - \cos^2 AC)}}$.

Por el párrafo 467, es $dA : dAB = 1 : \text{tang}$

Iii 2 CBA

CBA $\times$ sen AB $=$ cos CBA : sen CBA $\times$ sen AB; y, siendo sen ACB : sen AB $=$ sen CBA : sen AC, ó sen ACB $\times$ sen AC $=$ sen AB $\times$ sen CBA, tambien $dA : dAB =$ cos CBA : sen ACB $\times$ sen AC, y dA

$$= \frac{\cos CBA}{\operatorname{sen} ACB \times \operatorname{sen} AC} \times dAB.$$

Pero [1] cos CBA

$$= \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} CB};$$

luego

$$dA = \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} ACB \times \operatorname{sen} AC \times \operatorname{sen} CB} \times dAB.$$

Siendo en el triángulo ACB, por la suposicion, 1 : sen ACB $=$ sen CB : sen CAB, ó sen ACB $\times$ sen CB $=$ sen A, resulta

$$dA = \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} AC \times \operatorname{sen} CAB} \times dAB;$$

y como sen CB : seno CAB $=$ sen AC : sen CBA, tambien

$$dA = \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} CB \times \operatorname{sen} CBA} \times dAB;$$

de donde, substituyendo (476) sen $CBA = \sqrt{\left(1 - \frac{\cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}$, se deduce dA

$$= \frac{\cos AC}{\operatorname{sen} CB \times \sqrt{\left(1 - \frac{\cos^2 AC}{\operatorname{sen}^2 CB}\right)}} \times dAB;$$

y por consiguiente

$$dA = \frac{dAB \times \cos AC}{\sqrt{(\operatorname{sen}^2 CB - \cos^2 AC)}}.$$

Pa-

(1) La razon de esta igualdad se percibirá facilmente, formando el triángulo suplementar.

480 Para asegurar el acertado uso de estas fórmulas, es necesario advertir, que, suponiéndose las diferenciales cantidades infinitamente pequeñas respecto de qualquiera cantidad finita, podrá conocerse (451) que pueden tomarse como tales los pequeños arcos que se tengan, usando las fórmulas siguientes, que darán los límites de los errores que pueden cometerse en el caso particular de que se trate.

481 Expresando por a un pequeño arco qualesquiera, se tienen estas equaciones sen $a = a - \frac{a^3}{6}$, y cos $a = 1 - \frac{a^2}{2}$, esto es: que si el arco a es una cantidad infinitamente pequeña respecto á la unidad, ó al radio, el valor del seno diferirá del del arco en un infinitamente pequeño de tercer órden: y el coseno será menor que el radio de un infinitamente pequeño de segundo órden.

La siguiente proposicion es tambien útil para estos usos.

482 *El seno verso* MB *de un arco infinitamente pequeño* AB *es igual al quadrado del arco, dividido por el diámetro, esto es á* $\frac{AB^2}{2CB}$. *Fig. 66.*

Por una propiedad del círculo es $MB : MA = MA : CB + CM$, y por consiguiente MB

=

$= \frac{MA^2}{CB+CM}$; de lo que se sigue, por ser (481) las diferencias entre MA, AB, y CB, CM despreciables, $MB = \frac{AB^2}{2CB}$.

483 Ultimamente notarémos, que en todas las fórmulas diferenciales anteriores, las variaciones ó diferenciales cuyas relaciones hemos indagado están expresadas por la misma longitud de los arcos, ó por su valor en partes del radio. Siempre que se trate de hallar sus relaciones podrán expresarse indiferentemente en grados ó en aquellas partes; porque, siendo todos arcos de un mismo radio, el número de grados es proporcional al de las partes del radio que contienen. Pero, quando haya de averiguarse el valor absoluto de alguna variacion en particular, será preciso reducir á la misma unidad todos los demás términos de la proporcion: esto es convertir los arcos dados en grados á su valor en partes del radio, ó, lo que será mas cómodo con freqüencia, reducir los senos, tangentes &c. á grados, minutos &c.

NO-

NOCIONES DE LOS PRINCIPALES instrumentos que se usan en la Astronomía.

484 El estado de la Astronomía, que, nacida de la curiosidad de los primeros observadores, se ha ido formando con los materiales recogidos por los hombres laboriosos que les sucedieron, ha dependido siempre de la mayor ó menor perfeccion de los medios que éstos han podido desfrutar para contemplar el Cielo. Asi, la perfeccion de los instrumentos es la que ha dado un vuelo tan rápido á los asombrosos adelantamientos de la Astronomía moderna, y el aspecto de lentitud y dificultad que nos presenta la naturaleza de sus progresos futuros parece que solo puede trastornarse con el descubrimiento de nuevos medios, ó aumento de exâctitud en los que actualmente poseemos. Por tanto, á pesar de la brevedad de este compendio, darémos una nocion de alguno de los principales instrumentos que se emplean en el dia en la Astronomía práctica: y, para esto principiarémos por el Observatorio que debe contenerlos.

Del Observatorio. 485 El Observatorio consiste principalmente en una sala situada á proposito para conservar y usar los instrumentos astronómicos.

Pa-

Para este fin, el lugar del Observatorio debe tener una vista descubierta de todo el Cielo, á fin de que los astros, en qualquiera punto entre el zenit y el horizonte en que se hallen, puedan verse libremente, ó á lo ménos quando corresponden ácia los puntos cardinales. Una torre redonda, con varias ventanas y en una posicion despejada, puede servir á las observaciones astronómicas. En el techo y pared, qualquiera que sea la figura del Observatorio, se hace un escotillon ó ventana seguida en la direccion del meridiano: la qual abierta, facilita dirigir los instrumentos ácia todos los puntos del Cielo desde el zenit al sur ó al norte.

486 Para lograr la misma ventaja en todas direcciones, se ha imaginado cubrir el Observatorio de un techo cónico y movible: el qual, girando, conduce una abertura longitudinál practicada en él, ácia la parte del Cielo que el observador quiere registrar. Pero estas y otras varias comodidades, que son muy propias para testimonio de la proteccion de los Soberanos á las Ciencias, no son absolutamente indispensables al Astrónomo: quien, con su ciencia y celo, se vé freqüentemente en la necesidad de discurrir un artificio, las mas veces incómodo, para vencer las desventajas de las circunstancias.

De

De los reloxes astronómicos. 487 El relox es una máquina, que, por un movimiento uniforme qualesquiera, cuyos grados pueden medirse y conocerse por medio de uno ó mas índices, manifiesta las partes del tiempo que se han pasado desde un término elegido á este proposito.

Como este movimiento debe ser uniforme, el que indique el relox no puede ser sino el medio, ú otro tiempo igual que, conservando siempre con aquel una relacion constante, lo dé á conocer inmediatamente. Y asi se vé, que entre una máquina, como la de un relox, hecha para dividir el tiempo en horas, minutos &c. por su propio movimiento, y un instrumento, como un quadrante solar destinado á manifestar el órden de las mismas partes conforme al movimiento del Sol, habrá una diferencia, que, estando uno y otro bien construidos y arreglados, será igual á la equacion del tiempo.

488 Para asegurar la uniformidad del relox, que es en lo que consisre su principal mérito, se ha discurrido aplicarle el pendulo: y de esta invencion, cuyo honor se ha querido atribuir á Galiléo, pero que sin duda recibió su perfeccion del famoso Mr. Huygens, ha resultado á la Astronomía y á la sociedad un gran cúmulo de bienes, que con el tiempo serán aun mas considerables, por

los adelantamientos á que puede conducir el mismo principio. Los reloxes de *péndola*, que tomando la parte por el todo suelen llamarse simplemente *Pendulos* son los mas perfectos, y actualmente casi los únicos que se usan en las observaciones astronómicas. Pero á este fin, ántes de todo, es necesario averiguar su estado y movimiento, esto es, su relacion con el tiempo igual, por alguno de los medios que facilita la Astronomía.

489 Verificada esta diligencia, el observador, aunque se halle solo, con el auxîlio de un Pendulo que, por los golpes del escapamento, le indique los segundos, podrá verificar su observacion: contemplando el objeto celeste con la vista, y atendiendo al mismo tiempo con el oido á los segundos que ván pasando. Quando el observador percibe que el objeto se halla próximo á la posicion que espera, no tiene mas, que advertir con una ojeada el instante que entonces señala el Pendulo, y seguir contando, segun su órden, los segundos que vá oyendo, para fixarse en el preciso momento en que sucedió el fenómeno. Lo que tambien podrá hacer: contando arbitrariamente desde el golpe que le parezca, y viendo despues la diferencia entre su número imaginario y el del índice.

490 Por exemplo: si al notar la hora encontró

tró en el Pendulo las $6^h\ 10'\ 15''$, y contando sucesivamente con los golpes 16, 17, 18, 19 notó el aspecto que se proponia observar en el instante medio entre los 18 y 19, dirá, que dicho aspecto sucedió á $6^h\ 10'\ 18''\frac{1}{2}$ del dia y lugar en que se halla. Quando el observador tiene algun asistente, su atencion está ménos compartida, porque solo necesita escuchar al otro que le cuenta en voz alta los segundos, expresándolos cada uno hasta diez, segun el órden en que se suceden. Pero siempre será preciso, que el observador adquiera el hábito de contar á la vista ó al oido, de modo que, sin distraerse de las demás indispensables atenciones, pueda asignar con precision el instante que le acomode.

De los Anteojos y Telescopios. 491 Los Anteojos, ó Telescopios [1] de refraccion se construyen de varias clases, en quanto á la disposicion, dimensiones, número y calidad de las lentes de que constan: las quales se acomodan al uso particular para que se destina el Anteojo. Actualmente los astrónomos hacen un uso casi exclusivo de la especie de Anteojos compuestos de dos lentes convexâs: y de estas,

(1) La voz *Telescopio*, que en general significa instrumento propio para ver de lejos, se usa comunmente para distinguir los instrumentos de esta especie compuestos de dos espejos.

estas, la que está mas próxima ó ácia el objeto que se mira se llama la *objetiva*, y la otra que se coloca mas cerca del ojo la *oculár*. Y estos son los únicos que procurarémos dár á conocer en pocas palabras: deseando que la explicacion elementar siguiente sirva de estímulo al navegante, que no esté instruido de los indispensables principios de la Optica, para aplicarse á penetrar los fundamentos de una máquina que, ensanchando la esfera de su vista, no contribuye poco al acierto de sus deliberaciones sobre muchos lances críticos.

Fig. 71. 492 Los rayos *o*F, *o*F, *o*F que, partiendo de un punto luminoso ú objeto muy distante, como el Sol ó una estrella, son paralelos entre sí, al entrar en el vidrio, pasando desde el ayre, que es un medio ménos denso (286), padecen por las leyes de la Dioptrica una refraccion que, separando los rayos de la que ántes seguían, les dá una nueva direccion, que depende de la relacion de las densidades de los dos medios y de la naturaleza de la superficie exterior del vidrio. La lente objetiva está generalmente terminada por dos superficies esféricas, y lo es siempre la exterior que se dirige al objeto, aun quando la otra sea plana. Asi, los rayos de luz, que se inclináron al penetrar la lente, quando salen de ella para volver al ayre, experimentan otra re-

refraccion, que, aumentando su convergencia, los hace concurrir al fin en un punto F, que se llama el foco. El *foco* de una lente qualquiera es, pues, el punto donde, reuniéndose por su medio los rayos de luz que vienen del mismo punto muy distante, se forma la imagen del objeto que despide la luz, y donde, por consiguiente, debe parecer realmente el mismo objeto al ojo que recibe la impresion de los rayos de luz, despues que se cruzarán en el foco.

493 En el Anteojo astronómico se hacen coincidir los focos de la objetiva y ocular en el mismo punto F situado entre las dos lentes. Los rayos, que desde su reunion en F, se separan continuando su direccion recta, caen en la superficie de la ocular, en donde, penetrándola, experimentan efectos semejantes á los que acabámos de explicar en la objetiva; pero en órden inverso, porque, siendo divergentes al encontrar la primera superficie de la lente, salen de ella paralelos.

494 Un ojo bien constituido, que no esté sujeto á necesitar de ciertos límites para ver distintamente, ó que no es myope ni presbyta, percibe los objetos con toda la perfeccion posible, quando los rayos que parten del objeto le llegan paralelamente. De lo que se sigue, que un ojo tal, recibiendo los rayos de luz en *m*, debe ver claramen-

te

te el objeto en F segun el exe optico *odFaE*, ó línea que pasa por el objeto *o*, por el centro de la objetiva *d*, y por el foco F.

495 De qualquier punto que se considere en el objeto *ob*, como por exemplo el extremo *b*, resulta otro punto *f* donde se reunen todos los rayos paralelos que, saliendo del primero, caen en la superficie exterior de la objetiva. Y este punto *f*, que se halla á la misma distancia de la lente OB que el F, está tambien en la línea recta *bdf* que pasa por el centro *d* de ésta y por el punto *b*. Asi, del mismo modo que en el foco F, los rayos, cruzándose en *f* y llegando á la ocular, padecen las refracciones que hemos explicado ántes, saliendo últimamente de la lente en direcciones paralelas entre sí *n*O′. Por consiguiente, el ojo colocado en la interseccion E de estos rayos vé al mismo tiempo los dos puntos *f*, y F, que son las imágenes de los del objeto *b*, y *o*. Y pudiéndose decir lo mismo de todos los demás, no tiene duda, que el ojo deberá tambien percibir toda la imagen *f*F del objeto entero.

La ventaja que hace preferible esta imagen á la vista directa del objeto *ob*, consiste, en que, siendo el ángulo O′E*a*, formado por los rayos despues de atravesar la ocular, mayor que el de los rayos directos, el objeto parece tambien mas grande. Y

la

la Optica demuestra : que la magnitud aparente del objeto resulta de este modo multiplicada tantas veces , quantas la longitud del foco, esto es, la distancia del foco al centro de la objetiva , contiene la longitud del foco de la ocular , ó su distancia al centro de esta lente.

496 Además del aumento de la magnitud aparente del objeto , para percibirlo distintamente, hay que atender á la mayor ó menor claridad con que queda la misma imagen : de cuya doble indispensable atencion , resulta una dificultad , que obliga en la práctica á contentarse con un medio , porque son opuestos los caminos por donde se adquieren las dos ventajas. La magnitud aparente del objeto solo puede agrandarse con la convergencia de los rayos que salen de la ocular ; pero , padeciendo mayor dispersion la misma cantidad de rayos, un espacio igual contiene ménos luz que ántes, y estando la impresion dividida en mas puntos de la retina , la luz se debilita y los objetos se obscurecen al paso que su magnitud se multiplica. Asi, la Optica demuestra , como manifiesta la sola inspeccion de la fig. 71 : que si, conservando la misma abertura y foco á la objetiva , se emplean sucesivamente varias oculares, la obscuridad de las imágenes es en razon inversa de los quadrados de las lon-

longitudes de los focos de las oculares.

497 Mudando tambien las objetivas, ó no suponiendo de comun en los Anteojos mas que la calidad, figura y pulido de las lentes, se demuestra, como puede percibirse con igual facilidad: que la claridad de los objetos es en razon compuesta de la directa de los quadrados de los diámetros de la objetiva, y de la inversa del quadrado del número de veces que cada Anteojo aumenta el diámetro de los objetos.

498 Por estas reglas podrán adaptarse las longitudes focales á la aplicacion que deba tener el Anteojo: en lo que, como se vé, debe atenderse á la intensidad de la luz de los objetos, para aumentar su magnitud, solo hasta el punto en que la falta de claridad no perjudique á la vision distinta.

499 Pero, sobre este asunto no es de omitir, que Mr. Herschel, habiendo sospechado de arbitrarias las reglas admitidas comunmente sobre la facultad del ojo en la determinacion de la amplificacion que conviene á cada Telescopio, ha hallado, que, en efecto, la fuerza de las oculares puede llevarse mucho mas allá de los límites ordinarios, dando al ojo el tiempo necesario para acostumbrarse: y que, con la constancia en continuar mirando por el mismo instrumento, abandonándolo solo los cor-

tos

tos intervàlos indispensables para descansar la vista, la primera confusion desaparece, como se disiparía una niebla. Importantísimo descubrimiento para la Astronomía práctica, y del qual el mismo Mr. Herschel ha sacado ya grandes utilidades.

500 El mismo camino de los rayos de la luz en el Anteojo manifiesta, que la abertura de la oculár, ó longitud OB de la lente que se destina á introducir los rayos, no influye en el espacio que puede verse con el Anteojo, y sí solo sirve para recibir una cantidad de rayos proporcionada á su superficie: que, mientras mayor sea, debe, por consiguiente, aumentar la claridad con que se vean los objetos. Esta es la principal ventaja de un Anteojo grande, que, admitiendo una gran cantidad de rayos, permite que se disperse, por medio de una oculár que aumente mucho. Pero en la práctica no se logra, y la abertura de las objetivas es siempre corta; porque la figura esférica de las lentes, que es la única de que se hace uso, no reuniendo todos los rayos en un solo punto, produce una aberracion que se opone mucho á la clara distincion de los objetos.

501 Entre los diferentes métodos que se practican para remediar el inconveniente de esta *aberracion de esfericidad*, se coloca un diafragma en el fo-

co del Anteojo, que consiste en una superficie opáca, plana y negra, con un agujero redondo de un diámetro igual, á corta diferencia, al del mayor objeto que puede verse distintamente por medio de la oculár. Este diafragma ó círculo es el que decide únicamente del campo del Anteojo, ó de todo el espacio que por su medio puede ver un ojo colocado en el punto que le proporcione lograr todo el efecto del instrumento. Y para arreglar, tanto sus dimensiones, como las de las aberturas de las objetivas y oculares que pueden soportar, será siempre lo mejor recurrir á la experiencia; porque todo puede variar, segun la perfeccion de la objetiva y uso á que se destine el Anteojo.

502 Los Anteojos astronómicos invierten los objetos, ó hacen parecer lo de arriba abaxo y lo de derecha á izquierda; porque la impresion del rayo de luz es la que hace sensible al ojo la presencia de la imagen *f* segun la direccion O′E en que llega á la pupila. Este defecto se evita, multiplicando las lentes convexâs ó disponiéndolas con las cóncavas convenientemente. Pero el mismo remedio acarrea otras desventajas, cuya entidad para el uso á que se destina el Anteojo debe decidir de si debe ó no adoptarse. Los Anteojos que se usan ordinariamente para los objetos terrestres se componen de qua-

quatro lentes, y aun los de seis se emplean con freqüencia en la Marina.

503 Como cada rayo de luz se compone de otros siete de color y refrangibilidad diferente, todo Anteojo está sujeto, además de la de esfericidad, á otra especie de aberracion, que por su semejanza con este meteóro se llama *iris*, y es de los mayores obstáculos que hasta ahora se han opuesto á la perfeccion de estos utilísimos instrumentos. Leonardo Euler, á quien las Matemáticas deben tantas buenas cosas, discurrió un medio para remediarlo, y el célebre artista Mr. Dollond, executándolo de un modo que su hijo despues ha perfeccionado, es el primero que nos puso en posesion de este descubrimiento: uno de los mas admirables de nuestros tiempos. La bondad de estos Anteojos dispensa á los astrónomos de la necesidad de servirse de los ordinarios muy largos, á que es indispensable recurrir en su defecto: y el fundamento de esta perfeccion se reduce, á componer las lentes de materias de distinta potencia refractiva, para emendar con unas la confusion que otras producen.

504 Los Anteojos, que se aplican á los instrumentos para hacer observaciones astronómicas, tienen en el foco comun dos hilos, cuya interseccion señala este punto exâctamente, y con los cen-

tros de las lentes, el exe optico del Anteojo, que suele llamarse línea de *colimacion*. Á estos dos hilos, que forman ángulos rectos, suelen añadirse algunos paralelos, que son útiles para variar observaciones y usos.

505 El Telescopio de reflexîon, que por lo comun se llama simplemente *Telescopio*, es un instrumento, que consta de dos espejos de metal y de una oculár de refraccion, dispuestos para ver con la perfeccion posible los objetos distantes. Este Telescopio tiene la ventaja de hacer el mismo efecto que los de refraccion, aunque sea mucho mas corto. Pero como, entre otras imperfecciones, padece la de ser su costo muy grande, siendo al mismo tiempo muy expuesto á echarse á perder, el uso que se hace de los Telescopios no es tan general como el de los instrumentos dioptricos.

De las Máquinas paralátícas, y equatoriales.

506 Los Anteojos se montan en máquinas llamadas *paralátícas*, y *equatoriales*, con las quales sirven, para seguir facil y comodamente el movimiento diurno de los astros, y observar sus diferencias en ascension recta y declinacion, fuera del meridiano.

507 Para esto, basta adaptar artificialmente varios círculos que representen los que se consideran en la esfera: y, puestos éstos en la situacion convenien-

niente al lugar de la observacion, dirigir ó mover el Anteojo segun exíja el caso.

508 Considerando, por exemplo, un Anteojo adaptado á un exe, á cuyo alrededor describe un círculo: colocado aquel exe segun el del Mundo, el Anteojo seguirá naturalmente el movimiento de los astros en el equador, y no habrá mas que inclinarlo de la cantidad de la declinacion, para buscar y conformarlo á otro astro qualquiera. El instrumento podrá girar asi como el astro elegido, é indicará las diferencias de las ascensiones rectas ó declinaciones, por medio del Retículo (515 y siguientes).

Del Micrómetro, Heliometro, y Retículos. 509 *El Micrómetro* es un istrumento propio para medir pequeñas distancias angulares, por medio de dos ó mas hilos colocados en el foco de un Anteojo.

Si, habiendo observado el objeto *ob*, se averigua por experiencia, que el ángulo *odb* es, por exemplo, de 32′, siempre que, mirando con el Anteojo otros dos objetos se hallen sus imágenes en los mismos puntos *f* y F, se sabrá que la distancia de estos dos objetos, es igualmente de 32′. Y pudiéndose averiguar del mismo modo los valores angulares á que corresponden todos los puntos de F*f*, será facil señalarlos con hilos muy delgados capaces *Fig. 71.*

ces de percibirse con la oculár ; y, por consiguiente, determinar el ángulo de la distancia á que se hallen todos los objetos que comprehenda el campo del Anteojo.

510 Mr. Auzout perfeccionó este artificio con una máquina que, moviendo un hilo paralelamente á sí mismo, por medio de un tornillo, y quedando fixo en el foco otro hilo, que, paralelo al primero, determina con él el plano perpendicular al exe del Anteojo en que se mueve el hilo, sirve para distinguir con mas exâctitud el preciso punto que se necesita.

511 El valor del ángulo correspondiente al punto en que actualmente se halla el hilo, se conoce por las vueltas dadas al tornillo para separarle del inmovil: y este número de vueltas está señalada por una aguja ó índice que gira con el tornillo en un círculo graduado semejante al de un relox. Para graduar este círculo, ó conocer el valor de sus dimensiones, no es absolutamente necesario determinar por experiencia todos los ángulos que corresponden á los diversos puntos del tránsito del hilo. La operacion puede abreviarse, midiendo el ángulo equivalente á sus divisiones en una corta distancia de los hilos, é infiriendo por regla de proporcion los valores de las demas divisiones.

El

512 El Micrómetro ordinario que acabamos de describir tiene algunas desventajas que Mr. Bouguer consiguió evitar en la invencion de otro instrumento muy á proposito para medir el diámetro del Sol exâctamente, y que por esta razon llamó *Heliometro*. En el mismo cañon de este instrumento se colocan dos objetivas próxîmas, por cuyo medio y el de una sola oculár, el ojo puede ver la doble imagen formada en los focos de las objetivas, de modo que las dos imágenes, una al lado de la otra, se vén entre sí á una distancia igual á la de los centros de las objetivas. Si esta distancia, por exemplo, forma en el foco un ángulo de 32′, á corta diferencia igual al diámetro del Sol, entonces se verán dos discos de este astro: que se tocarán, si el diámetro es precisamente de treinta y dos minutos: que se cubrirán un poco, si el diámetro es mas grande: y que estarán un poco separadas, quando sea mas pequeño. Asi, haciendo las objetivas capaces de aproxîmarse y alejarse mutuamente, se vé, quan facil es aproxîmar ó alejar igualmente las imágenes, y disponerlas de modo que se toquen exâctamente. Con esto, señalando el movimiento y distancia de las objetivas por un índice, se tendrá inmediatamente la distancia de los centros de las imágenes, igual al diámetro del Sol ó al del planeta que quiera medirse.

Mr.

513 Mr. Dollond perfeccionó aun el Heliometro de Mr. Bouguer, con el nombre de *Micrómetro objetivo.* Este instrumento se diferencia del anterior, en que, en lugar de las dos objetivas del Heliometro, se le pone una sola objetiva compuesta de dos mitades perfectamente semejantes y que tienen el mismo foco, como si la lente circular de la objetiva se cortase en dos semicírculos. Estas dos mitades son capaces de juntarse por medio de un tornillo, para formar una objetiva entera, ó de alejarse, moviéndose en la direccion del diámetro comun, hasta una cierta distancia. Las dos mitades juntas producen la imagen de un objeto, como una objetiva ordinaria; pero, si estas dos mitades movibles se separan de una cantidad igual á la distancia de dos objetos, éstos se juntan en un mismo punto, y sus imágenes se confunden en una sola. Asi, quando con el Micrómetro objetivo quiere medirse una corta distancia, como, por exemplo, la de los dos márgenes del Sol, ó la de un satelite al margen de Júpiter, ó la de una estrella á otra, no hay mas que mover las dos mitades de la objetiva, hasta ver en el centro del Anteojo los dos márgenes tocándose, el satelite adherente al margen de Júpiter, ó las dos estrellas confundidas. La distancia de las objetivas, medida por un índice ó Micró-

crómetro ordinario, dará precisamente la de los dos objetos.

514 Mr. de Charníeres ha discurrido apropiar el Heliometro á las observaciones de la Astronomía naútica, y llamado *Megámetro* á este instrumento, dispuesto para medir ángulos mayores. Pero sobre su construccion y mérito, consultese el Tratado de las longitudes del mismo Charnieres, y las experiencias de MM. Verdun, Bordá, y Pingré en el viage de la Flora.

515 Los *Reticulos* se usan muchas veces en lugar de los Micrómetros, y sirven para comparar los astros que pasan al mismo tiempo, ó á lo ménos sucesivamente, por el campo de un mismo Anteojo sin alterar la posicion de éste. Las dos especies principales de Reticulos son, el Reticulo de 45°, y el Reticulo romboide.

El Reticulo de 45° consta de quatro hilos colocados en el campo del Anteojo cortándose en su centro: de los quales, el hilo PR está destinado á representar el paralelo al equador, ó la direccion del movimiento diurno de los astros: MD, que le es perpendicular, el meridiano ó círculo de declinacion: y los AB, CF forman ángulos de 45° con los dos primeros. En esta disposicion, para medir la diferencia de ascension entre dos astros, se inclina *Fig. 72.*

el hilo PR, de modo, que el primero de los dos astros que entran en el Anteojo siga su direccion exâctamente: y se nota el instante en que el astro pasa por el centro E ó interseccion de los hilos. El segundo astro, al atravesar el Anteojo, describe una línea *edcba* paralela á PER; y por consiguiente, observando el instante en que llega á *c*, esto es, al mismo círculo de declinacion en que se observó el otro astro, la diferencia de los tiempos dá la de las ascensiones rectas.

516 Para hallar por medio de este instrumento la diferencia en declinacion de los dos astros, ó el valor de la perpendicular *c*E: se notan los instantes en que el segundo astro llega á los puntos *d*, *b*, esto es, á cortar los hilos obliquos; y el interválo de tiempo convertido en grados, multiplicado por el coseno de la declinacion del astro, dá el valor del arco *bd*, y la mitad de éste, *cd* igual á *c*E, la cantidad que se desea.

Fig. 73. 517 El Retículo romboide, inventado por Bradley, que es el que comunmente usan en el dia los astronómos, se reduce á un rombo ABCD, tal que la mayor diagonal BD es doble de la otra AC. Con esto, para comparar dos astros, no hay mas que hacer correr al primero el espacio AC igual á BE, contando el interválo que gasta en este tránsi-

sito; y su medio es el instante del pasage por B D. Atravesando el segundo el Anteojo segun la direccion *ab*, se cuenta tambien el tiempo que gasta en el pasage entre *b*, y *a*, y los instantes en que se halla en ellos; y su medio es el de la llegada del segundo astro á BD. El tiempo que divide los pasages de los dos astros por BD, convertido en grados, dará la diferencia de sus ascensiones rectas. Y el tiempo gastado en el pasage *ab*, convertido tambien en grados, y multiplicado por el coseno de la declinacion del astro, dará el valor de *ab*, ó B*m*; por el qual, restado de BE, se tendrá *m*E, que es la diferencia en declinacion de los dos astros.

Del Quarto de círculo mural, Anteojo meridiano ó Instrumento de pasages, y Sector astronómico. 518 Quando los astros no pasan junta ó sucesivamente por el campo de un Anteojo conservado en la misma posicion, los instrumentos que acabamos de indicar son insuficientes, y por conseqüencia es necesario valerse de otros para compararlos, y determinar sus situaciones relativas. El objeto de tales instrumentos es señalar con mucha precision el plano del meridiano, para hallar por los pasages de los astros sus ascensiones rectas: y manifestar el preciso punto de aquel círculo á que corresponde entonces cada astro, para inferir la diferencia de sus declinaciones. Con este fin se han inventado varios instrumentos ; y entre ellos, los astronómos emplean con preferencia, el Quarto de círculo murál, y el Anteojo meridiano ó Instrumento de pasages.

519 El *Quarto de círculo murál* se reduce al Quarto de círculo astronómico, de que hablarémos despues (524 y siguientes), colocado con firmeza en una pared bastante fuerte, para sostenerlo en una posicion invariable. Esta ha de ser tal, que la alidada, ó exe del Anteojo aplicado paralelamente al plano del instrumento, se mueva por todo el espacio del limbo, sin salir del preciso plano del meridiano. Y en esta disposicion, con solo observar los astros quando el instrumento lo permita, se tienen en él sus alturas meridianas, y los instantes de sus pasages por el meridiano.

520 El *Instrumento de pasages ó Anteojo meridiano* se compone de un Anteojo adherente y perpendicular á un exe. Los extremos de este exe descansan en dos postes firmes de mazonería ó madera, y el Anteojo gira sobre él, conservándose siempre en el plano del meridiano.

521 Con este instrumento se han propuesto los astrónomos conseguir mayor precision que la que proporciona el Quarto de círculo murál en las ob-

observaciones de los pasages por el meridiano; pero á este fin es necesaria la mayor escrupulosidad, para colocarlo de modo, que la rotacion se verifique exâctamente en el plano que conviene. La operacion necesaria para esta rectificacion es facil, y se reduce á observar los instantes del relox en que suceden los dos pasages de una estrella circumpolar por el Anteojo, quando se halla superior é inferior al polo. Si los intervalos gastados en describir la parte oriental y occidental son iguales, el movimiento del Anteojo es qual se desea; y si se hallase alguna diferencia, podrá alterarse la situacion del exe, hasta que, repitiendo las observaciones, se encuentre la conformidad precisa.

522 Conseguido este indispensable requisito, el exâmen de la permanencia del Anteojo en la posicion dada, podrá facilitarse para qualquier tiempo, colocando una marca de firme á una distancia considerable del instrumento, segun la direccion horizontal del exe del Anteojo. Por este medio y el de un nivel, se percibirá inmediatamente, si algun accidente ha perjudicado la estabilidad del instrumento.

523 El *Sectór astronómico* es otro instrumento que se aplica á observaciones semejantes, y que tiene este nombre, porque su arco comprehende un corto número de grados. Las observaciones de la

aber-

aberraccion, que Mr. Bradley descubrió con este instrumento, no necesitan de mayor abertura, porque se practican en las proxîmidades al zenit; y la exâctitud de que es capáz la graduacion, por la gran longitud que se dá á su radio, ha hecho que despues solo se emplee en las observaciones muy delicadas, como las de la figura de la Tierra. Vease la Astronomía de Mr. de la Lande sobre su descripcion y usos.

Del Quarto de circulo movible. 524 El *Quarto de circulo movible* es el instrumento principal de la Astronomía, porque la generalidad de su uso y facilidad de manejarlo y transportarlo, lo hacen tan preferible á todos los demás, como indispensable para la práctica. Por esto, los Artistas mas famosos han procurado siempre adelantar algun paso ácia su perfeccion, y una de las principales atenciones del observador debe dirigirse á asegurar el acierto de su uso: ya contribuyendo con sus precauciones á la exâctitud del instrumento, ya determinando las correcciones que deben aplicarsele en cada caso.

525 Este conocimiento fundamental del instrumento no puede adquirirse, sino apurando todas las diferentes causas que pueden ocasionarle alguna inexâctitud constante ó accidental, y practicando los métodos mas eficaces para descubrirlas y medirlas.

las. Sentada la buena composicion del todo, es indispensable atender al oficio particular de cada parte, para exâminarla menudamente considerándola, no ménos con respecto á sí misma, que con respecto á las demás á cuya harmonía debe contribuir. Por lo qual, además de las reglas generales comunes á todos los instrumentos de la misma especie, deberá tenerse gran cuidado en procurar conocer el particular que se maneja: y sin esto no se conseguirá remediar ó evitar todas sus imperfecciones.

Esta instruccion profunda, que, extendida á los demás instrumentos, forma una de las principales qualidades del buen astrónomo práctico, solo se logra con la práctica y la lectura meditada de las obras escritas por los hombres científicos que los han manejado ó construido. Y siendo insuficiente lo que pudieramos decir sobre el asunto, sin abultar demasiado estos principios, nos contentarémos con recomendar este importante estudio: dando solo una nocion de los Quartos de círculo remitidos á España por el Sr. Juan Jacinto Magallanes.

526 La construccion del Quarto de círculo se funda en este principio demostrado por Euclides: Que todos los ángulos, cuyos vértices se hallan colocados en el centro del mismo círculo, son proporcionales á los arcos de circunferencia sobre que

apo-

apoyan. De donde resulta, que los grados, minutos &c. de que constan éstos, son las medidas de sus respectivos ángulos.

Fig. 74. Siendo O y H dos objetos, y queriendo medir el ángulo OCH: coloquese una porcion de círculo graduado con su centro en el vértice C, de modo que el objeto H se vea enfilado por la interseccion de los hilos del Anteojo, ó de las rajas de las pinulas colocadas en la línea CB: muevase despues una alidada CD hasta observar el punto O en la direccion de la interseccion de los hilos del Anteojo ó de las rajas de las pinulas; y con esto se tendrá en el valor de BD el del ángulo OCH.

527. Por esta operacion pueden medirse facilmente las alturas de los astros ó sus distancias al zenit. Porque, si en el exemplo antecedente suponemos, que, por un aplomo ú otro medio, se haya hecho vertical el radio AC, éste prolongado encontrará en el Cielo el zenit Z, y el plano del instrumento quedará perpendicular al horizonte. Con esto, enfilando el astro O por la alidada CD, el arco dará su distancia al zenit; y haciendo AB de 90°, DB será igual á su elevacion sobre el horizonte. Por lo qual, segun las divisiones del limbo AB se señalen hasta 90°, principiando desde cero en A ó B, se tendrá expresada inmediatamente la dis-

distancia al zenit ó la altura del astro que se observe.

528 Á fin de facilitar la necesaria permanente perpendicularidad del plano del Quarto de círculo al horizonte, y para que, una vez colocado en esta posicion, pueda, conservándola, dirigirse á la parte del Cielo que acomode: el instrumento antecedente se suspende por un exe vertical, de modo, que, pudiendo girar libremente á su alrededor, se mantenga constantemente sin inclinarse al horizonte. La fig. 75 manifiesta un Quadrante como los de las colecciones de Magallanes situado en aquella disposicion. Al pedestal *ab* que sostiene el cuerpo del instrumento, se une, por medio de un tornillo, la basa *cedf*, que, apoyada en los tornillos *e*, *d*, *f*, *c*, se sitúa con toda la armazon sobre un pié sólido ó caxa (fig. 76) destinada á recibir los tornillos en quatro planchas de metal, que se hallan en su parte superior á este proposito. El instrumento armado así deberá colocarse en un sitio firme, como una bóveda, para libertarse del peligro de que su posicion se altere con la conmocion del plano en que descansa.

529 Las líneas de puntos *ab*, *gh* indican la posicion del exe del Quadrante encaxado en el pedestal. *m* es un brazo del instrumento entre dos tor-

nillos l, l que sirven para afianzarlo quando acomoda al circulo *aglml*, que se llama *azimutàl*, porque, paralelo al horizonte, manifiesta los diferentes verticales que corre el Quarto de círculo girando: n un contrapeso que sirve para equilibrar en todos sentidos el instrumento: y zp un nivel de ayre con el qual se hace vertical su exe.

530 Si una línea, moviéndose al rededor de un exe, describe un plano, este plano no puede ménos de ser perpendicular al exe. Por consiguiente, quando girando el nivel, se mantiene en la vertical en varias posiciones, ésta será señal de que el exe del instrumento es perpendicular al horizonte. Por esto, para lograrlo: póngase el plano del Quarto de círculo paralelo á los dos tornillos del pedestàl c, d, y afiancese en esta situacion por medio de los dos tornillos l, l. Si la bola de ayre no se halla entonces en el medio de su tubo, aprietese un tornillo y afloxese el otro, hasta que la bola llegue á
Fig. 77. estar entre las dos marcas m, n dispuestas á este fin en la superficie superior del vidrio. Esto hecho, vuelvase el Quadrante, afloxando los tornillos l, l hasta que su plano, descripta la mitad del círculo azimutàl, se halle en direccion opuesta á la que ántes tenía: y exáminese, si el nivel se mantiene invariable. Si ha padecido alguna alteracion: usense

los

los tornillos de la basa : y repitanse las mismas operaciones hasta lograr la permanencia.

531 Pero si el plano inferior del nivel no es perpendicular al exe del Quadrante, siempre se hallará alguna variacion en el lugar de la bola de ayre. En tal caso es indispensable alterar la posicion del exe. Á este fin, si la bola se halla adelantada ácia uno de los dos tornillos *c*, *d*, vuelvase el otro hasta que corra la mitad del espacio de su error: valiéndose despues del tornillo próximo á *p*, para hacerle correr la otra mitad, y fixarse en el medio. Por cuya operacion, repetida en direcciones opuestas á los brazos de la basa, se conseguirá poner vertical el exe del instrumento.

532 El nivel puede necesitar otra rectificacion; porque, si, quando la bola de ayre se halla en el sitio señalado, el plano inferior de la caxa que lo contiene, no está horizontal ó paralelo á su tangente, el nivel armado de este modo y puesto sobre otro plano, no podrá servir para probar su paralelismo al horizonte. En este caso, es necesario alterar la posicion del nivel en su caxa. Y para ello se emplean los tornillos *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, de los quales, unos afirman el nivel á la caxa, y otros lo separan de ella, torciéndolos ó destorciéndolos, para dár á la bola de ayre el movimiento que conviene, *Fig. 77.*

hasta hacerla correr la mitad del espacio del error. Los tornillos del pedestal que están en la direccion del nivel, llevan la bola á su lugar últimamente. Y con esto, exâminando si el nivel padece alguna variacion en el sentido opuesto: y repitiendo la operacion, en caso de notar alguna, hasta que la bola se mantenga constantemente en medio, se logrará rectificar el nivel como conviene.

533 Puesto el exe del Quadrante bien perpendicular al horizonte, es necesario tambien que su plano le sea paralelo, para que, quedando vertical una vez, pueda despues girar al rededor del exe sin inclinarse. Esto se consigue, por medio de un aplomo que, suspendido en una hendidura *t*, pasa por una caxita que la resguarda de las agitaciones del ayre, sumergiéndose su peso en un vaso lleno de agua, para que la resistencia de este fluido, disminuya y abrevie la duracion de las oscilaciones. El guardahilo ha de estár dispuesto de modo, que, pasando el aplomo por el centro del instrumento y el extremo de su graduacion, el hilo se halle perfectamente libre en medio, sin tocar á ninguna parte de la superficie interior de la caxita. Y conseqüentemente, al mismo tiempo que se haga vertical el plano del Quadrante, podrá tambien disponerse á proposito para medir las alturas de los astros, haciendo verti-

Fig. 75.

tical el radio correspondiente al o á 90° de la graduacion del limbo.

534 Toda la operacion se reduce á hacer, por medio de un tornillo situado en *t*, que el aplomo corresponda á los dos puntos señalados en el instrumento cerca de *x*, y *u*, que indican los precisos lugares del centro del Quadrante, y del principio de la graduacion. Lo qual, bien verificado con un microscopio que no dexe duda de la enfilacion del hilo y puntos, y moviendo el plano del instrumento, en caso necesario, con los tornillos que se hallan al proposito sobre el círculo azimutál, hasta poner los dos puntos *x*, *u* á igual distancia del hilo, el radio *xu* quedará paralelo al hilo; y por consiguiente, todo el plano del instrumento verticál y en la posicion que se requiere para usarlo en las observaciones.

535 Una de las qualidades de los instrumentos, en que mas luce la prolixidad y talentos del artista, es el componerlos de modo, que el perfecto equilibrio de todas sus partes, asegurando la estabilidad, contribuya á que el mismo peso del instrumento no lo doble y desarregle. Para ocurrir á este inconveniente, suelen usarse dos contrapesos, que se fixan con tornillos á la parte posterior del cuerpo del Quadrante; por cuyo medio se logra, que el todo que-

quede equilibrado en el sentido opuesto á su plano. Y para evitar que la posicion del Anteojo, segun la altura del objeto observado, haga variable el peso ácia el centro del instrumento, al Anteojo *rs* se añade otro contrapeso movible *q*, con el qual se mantiene equilibrado en todas situaciones.

536 Esta misma precaucion acarrea, no obstante, el inconveniente, nada despreciable en los grandes instrumentos, de sobrecargár el exe del movimiento del Anteojo. Para evitarlo, en los Quartos de círculo de las colecciones de Magallanes hace este oficio un solo contrapeso *n*, dispuesto para equilibrar el instrumento en todos sentidos. Este método ingenioso consiste, en los movimientos que facilita la pieza que une el contrapeso al instrumento, y su uso no puede ménos de ocurrirse con su vista, á qualquiera que se haga cargo del objeto.

537 La diferente atencion, inteligencia y principios de los artistas, y el mayor número de utilidades de que se proponen dotar al instrumento, hace variar sumamente su construccion y modo de manejarlo. Algunas veces el mismo limbo del Quadrante es el que se mueve para observar el astro por un Anteojo fixo colocado en uno de los radios que lo terminan (La fig. 78 representa uno de estos Quadrantes): y aun otras, estando el instrumento des-

pro-

provisto de nivel, es necesario rectificar su exe por medio del aplomo en diversas posiciones. Pero siempre se conocerán estas diferencias facilmente, y el observador estudioso nunca titubeará, sobre el uso y medios de sacar todas las ventajas que pueda producir el mérito absoluto del instrumento.

538 Además de las rectificaciones mencionadas, que son las que indispensablemente es necesario executar cada vez que quiera observarse con el Quarto de círculo, hay otras varias que deben tambien hacerse; pero que, una vez practicadas, no es precisa repetir, á ménos de recelar alguna alteracion en el estado del instrumento. Estas son, sin embargo, de una atencion indispensable, y sin ellas el astrónomo no podrá asignar la confianza que merecen sus observaciones. Pero, no cansándonos de insistir sobre la escrupulosidad con que debe mirarse este asunto, remitimos al principiante que aspire á adquirir un sólido conocimiento de los instrumentos astronómicos á la Astronomía de la Lande, Optica de Smith, y tratados de Magallanes, Ramsden &c.

Del Verniér. 539 Quando el hacer muy exácto y útil un instrumento requiere que se divida en muchas partes, y que sus dimensiones, ó no son bastante considerables para admitir las señales de todas

das las divisiones, ó que, puestas naturalmente, serian demasiado confusas para no exponerse á equivocaciones, es necesario recurrir á algun artificio, por cuyo medio pueda percibirse con distincion el preciso punto de la graduacion en que se halla el instrumento. Para lograr este fin, se han discurrido varios métodos, que tienen su utilidad en ciertos casos; pero el que se prefiere generalmente en el dia fué inventado, á principios del siglo XVII, por Pedro Vernier natural del Franco-Condado, aunque, por una fatalidad que no carece de exemplares, ha corrido y corre con el nombre de Pedro Nuñez, famoso matemático portugués que floreció en el siglo antecedente. Este fué autor de otra division, que, aunque pudo facilitar la de Vernier, no debe defraudarle de la gloria á que es acrehedor, por haber dado á las artes un nuevo medio de adelantar nuestros conocimientos. Pero sea lo que fuere de esta injusticia, el fundamento de la division consiste en el siguiente principio.

540 Si dos líneas, arcos de círculo, ó cantidades iguales, se dividen separadamente, una en un número n, y otra en un número $n+1$ de partes iguales, tendrémos, representando por a la cantidad que se divide, $\frac{a}{n}$, y $\frac{a}{n+1}$ por los resultados de

am-

ambas divisiones. Por consiguiente, la diferencia entre una parte de las primeras y otra de las segundas será igual á $\frac{a}{n} - \frac{a}{n+1} = \frac{an+a-an}{n(n+1)}$ $= \frac{a}{n(n+1)}$. Y en general, la diferencia entre la primera parte y la segunda, repetida cada una un número m de veces, igual á $\frac{ma}{n} - \frac{ma}{n+1}$ $= \frac{man+ma-man}{n(n+1)} = \frac{ma}{n(n+1)}$.

541 Sentado este principio: sea, para manifestar su aplicacion á la division de Verniér, EBCM una porcion qualquiera del limbo del instrumento, como, por exemplo, de un quarto de grado, y AEMD una porcion, tambien de un quarto de grado, de otro limbo que se ajusta con el primero. Divídase la porcion EBCM en cinco partes iguales Eb, bg, gf &c.; que son las que admite sin confusion el radio del instrumento; y dividiendo la porcion AEMD en seis partes EF, FG, GH &c., será por lo demostrado $m \times Me - m \times ML = \frac{m \times EM}{5 \times 6}$, y, por ser EM de $15'$, $m \times Me - m \times ML = \frac{m \times 15}{5 \times 6}$. *Fig.* 79.

En cuya equacion, substituyendo succesivamente 1, 2, 2, 3, &c. por m, se tendrá $Me - ML = eL = \frac{1}{2}'$, $2Me - 2ML = Mf - MK = fK = 1'$; y del mismo modo $gH = 1'\frac{1}{2}$, $hG = 2'$, y $EF = 2'\frac{1}{2}$.

Estando las divisiones de los limbos EBCM y AEMD apartadas de $\frac{1}{2}'$, $1'$, $1\frac{1}{2}'$, &c., se vé, pues, quan facil es distinguir claramente las del arco EM de medio en medio minuto: y que, haciendo movible por todo el limbo del instrumento el arco postizo AEMD, podrá, llevándose al punto que se necesite, percibir con este grado de precision el ángulo que se mide. Los artistas ponen, en efecto, esta division en la misma alidada que sirve para las observaciones, y especifican en cada linea de division NF, OG &c. los minutos ú otras partes á que corresponden.

542 El cero ó principio de la graduacion del Verniér puede ponerse en qualquiera division, y varía, por consiguiente, segun el capricho del artista: por lo qual, aunque parece lo mas natural establecerlo en el principio del arco E, ó M, es muy comun hallarlo en el medio H. Pero la consideracion del principio de la construccion, bastará para manifestár el fundamento de la disposicion que se le haya dado, y los demás usos á que pueden aplicarse tales divisiones.

PRIN-

PRINCIPIOS DE CRONOLOGÍA.

La *Cronología* es propiamente la historia de los tiempos. Pero su objeto no comprehende las medidas del tiempo presente y que se pasa. Estos pertenecen á la Astronomía y Reloxería: y la Cronología solo trata de los tiempos pasados, del arte de medirlos, de fixar épocas para este fin &c.

No entrarémos en el empeño de definir el tiempo ni considerarlo metafísicamente. Todo el mundo sabe que la idéa del tiempo es una pura abstraccion: y que, para seguir los progresos de su fluxo igual y constante, los hombres han debido siempre recurrir á los movimientos celestes, cuya harmonía y permanencia parecía asegurarles una justa medida de la uniformidad.

El giro diario del Sol fué probablemente la primera medida del tiempo: como el mes lunár, ó interválo que separa un novilunio del siguiente, el primer periódo ó año en todos los pueblos de la Tierra. Habiéndose notado despues, que desde un invierno á otro se pasaban doce meses lunares, se formó de esta duracion el año lunár. Y últimamente, atendiendo al curso del Sol, se compuso el año del tiempo señalado por el punto, en que aquel astro vuèlve á renovar las estaciones.

DEL CALENDARIO.

1 Para facilitar el cómputo de estas medidas en el intervàlo de un año, se construye el *Calendario* ó *Almanaque*, que consiste en una distribucion del tiempo dispuesta para los usos de la vida, ó contiene el órden de los dias, semanas, meses, fiestas &c. que suceden en el espacio de un año.

2 Nuestro Calendario debe su origen á Rómulo; pero desde entonces se han hecho en él varias reformas. El año en el tiempo de Rómulo constaba solo de diez meses; pero Numa despues lo hizo de doce, agregando un dia al año lunár de los Griegos de 354: y ordenando ciertas intercalaciones, para que las mismas estaciones ocurriesen siempre en los mismos dias del mes.

3 Esta disposicion, aunque no perfecta, bastaba para que, con la correccion de pocos dias al cabo de un cierto número de años, se pudiese mantener conforme á las revoluciones del Sol. Pero habiendose confiado la custodia del Calendario á los Pon-

Pontífices, porque, estando destinado á arreglar los dias de las fiestas y sacrificios, se miraba como parte del culto, aquellos lo tomáron como un medio de aumentar su poder: y las intrigas originadas de este principio llegáron á producir tal desórden, que los meses destinados á concurrir con el invierno, llegáron á caer en el otoño &c. Irregularidad que Julio Cesar uniendo en sí las potestades de Dictador y Pontífice máxîmo, quiso remediar. Para este fin, Cesar, que merece un lugar distinguido en la Astronomía, no ménos por la instruccion que adquirió de sus principios, que por la reforma del Calendario, se valió de Sosigenes, Filósofo y Astrónomo de Alexandría, á la sazon el emporio de las ciencias: quien, habiendo exâminado el año de Numa, halló, que el mejor partido que quedaba era abandonar el año lunár, y arreglar en lo sucesivo el año civil al curso del Sol únicamente. El Calendario reformado de este modo se llamó *juliano* del nombre del Dictador: y suponiendo la revolucion anual del Sol de 365 dias y un quarto, el año se hizo en el de este número de dias, añadiendo uno mas cada quatro años.

4 El año 45 ántes de Jesu Christo, en que se hizo esta correccion, se distingue entre los cronólogos por el *año de confusion*; porque, para reme-

mediar el error de 67 dias en que el princípio del año se habia alejado del solsticio de invierno, fué preciso añadirle dos meses, además de la intercalacion ordinaria de 23 dias que correspondia al mismo año, segun el antiguo Calendario. De modo, que este año se compuso de 444 repartidos en quince meses: sucediendo el equinoccio el 25 de Septiembre, y contándose los años julianos desde el 44 ántes de Jesu Christo.

5 El Calendario juliano estaba, pues, dispuesto por periódos de quatro años: de los quales, los tres primeros, que se llaman *años comunes*, constan de 365 dias cada uno, y el quarto llamado *bisiesto* de 366 dias, para atender á las 6 horas que en el interválo de quatro años hacen un dia. Este dia se puso despues del 24 de Febrero, que era el 6° de las calendas de Marzo: por donde, llamándose *bis sexto calendas*, el año en que correspondia se llamó tambien *bis sextus*: y de aqui bisiesto. El dia intercalár no se toma actualmente como la repeticion del 24 de Febrero, á ménos que no sea para las fiestas de la Iglesia, y, añadiéndose al fin de este mes, lo hace de 29 dias.

6 El año juliano, como hemos visto (3), suponiendo el año astronómico, ó revolucion tropica del Sol, de $365^d\ 6^h$ justas, excedia al verdadero año

año solar en unos 11′ (P. A. 312), cuya diferencia ha ocasionado la última correccion de nuestro Calendario. En efecto: aunque este error sea muy pequeño, acumulándose desde el tiempo de Julio Cesar, habia llegado á una cantidad tan considerable, que en el del Papa Gregorio XIII el desarreglo no era de ménos de 10 dias. El concilio de Nicéa, que estableció el dia de la celebracion de la Pascua, halló, que el equinoccio de primavera sucedia el 21 de Marzo del año 325 de nuestra era. Pero, habiendo continuamente anticipado este equinoccio, en el año de 1582, al tratar de la reforma del Calendario, se percibió que el Sol entraba en el equador el 11 de Marzo, esto es, diez dias ántes que en el tiempo del concilio niceno.

7 Para ocurrir á este inconveniente, que debia aumentar con el tiempo, era necesaria una correccion del Calendario; pero esta se propuso sin fruto, hasta que Gregorio XIII, consultando los astrónomos mas hábiles de su tiempo, concertó con ellos las medidas convenientes para que el equinoccio cayese en el mismo dia que en el tiempo del concilio de Nicéa. Con este objeto, exórtando á todos los Príncipes Christianos á recibir la nueva forma del Calendario, que adoptado generalmente se llama *gregoriano*, expidió una Bula que manda

la

la observancia de los siguientes artículos :

1° Despues del 4 de Octubre de 1582, se quitarán diez dias del mes : de modo, que el dia que seguirá á la fiesta de S. Francisco, que se acostumbra celebrar el 4 de Octubre, se llamará el 15 de Octubre, y la letra dominical (15) G se mudará en C.

2° Para impedir, que, en lo futuro, el equinoccio de primavera se aleje del 21 de Marzo: los años bisiestos, que se verificaban de quatro en quatro años, serán comunes en los seculares 1700, 1800, 1900, y solo bisiesto el 2000. Siguiendo siempre el mismo órden, de modo que tres años seculares sean siempre comunes, y el quarto bisiesto.

3° Para hallar de un modo mas seguro el catorceno de la Luna pascual, y los dias de la Luna en todo el curso del año, el número de oro (24) se suprime del Calendario, substituyendo en su lugar el cyclo de las epactas (27 y siguientes), por el qual el novilunio conservará siempre su verdadero lugar en el Calendario.

8 Por el artículo segundo se vé, que los números seculares 16, 20, 24 &c. divisibles por 4 sin resta, son los únicos que señalan años bisiestos: como en el intervalo de un siglo, los divisibles

bles por 4 señalan tambien años bisiestos.

9 La razon de esta correccion se presenta á primera vista. Porque, siendo el año realmente de 365^{d} $5^{h}\ 48'\ 48''$, es claro, que á cada bisiesto se añade $44'\ 48''$ de mas: exceso que, al cabo de un siglo ó de 25 años bisiestos llega á $18^{h}\ 40'$. La supresion del bisiesto al principio del siglo produce, pues, un error de $5^{h}\ 20'$; y, por consiguiente, el año centesimo deberá hacerse comun en tres siglos consecutivos, y bisiesto el quarto.

10 La España, la Francia, la Italia, los Países Católicos de Alemania, y en general todos los de la obediencia de la Iglesia Romana, recibiéron inmediatamente esta reforma; pero los Protestantes la desecháron. Sin embargo, como por la supresion de un bisiesto en 1700, el error de 10 habia aumentado á 11 dias, al fin se determináron á aceptarla, y aun en Inglaterra se ha adoptado en el mes de Septiembre de 1752: de modo, que los Rusos son los únicos que en la Europa conservan el Calendario juliano.

11 Del uso del Calendario juliano ó gregoria no procede la diferencia del *estilo antiguo* y *estilo nuevo*. Los que siguen el estilo antiguo cuentan 11 dias ménos que nosotros; y asi, en Rusia será el 26 de Enero, quando en España el 6 de Febrero.

12 El Calendario adoptado generalmente en toda la Europa consta, pues, de doce meses llamados Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre, y Diciembre: unos compuestos de 30, y otros de 31 dias, á excepcion de Febrero que es al que se le agrega el intercalár. Abril, Junio, Septiembre, y Noviembre son los de 30 dias.

13 Además de los meses, el tiempo en el cómputo civil se divide en semanas, dias, horas, minutos &c. La semana consta de siete dias, y su uso llega á la mas remota antigüedad. El dia, que los diversos pueblos han contado desde diferentes términos, consiste siempre en la vuelta del Sol al mismo en virtud del movimiento diurno (P. A. 210). La hora ó $\frac{1}{24}$ de un dia, se divide en sesenta minutos &c.

14 Con el Calendario gregoriano se consiguió la conformidad entre el cómputo civil del tiempo y el órden de las estaciones; pero esta reforma tenia otro objeto en las miras de la Iglesia, y era la de remover los novilunios al mismo estado en que se habian hallado en el tiempo del concilio niceno. Segun éste, la fiesta de Pascua debia celebrarse el 14 de la Luna, si este catorce sucede el 21 de Marzo ó despues del 21 de Marzo. Pero para que pue-

pueda entenderse este defecto, que se habia introducido en el Calendario, convendrá explicar el método usado para señalar en él los dias de la semana, y computar las Lunas que servian á reglar el rito.

15 Cada dia se distingue en el Calendario por una de las primeras siete letras del alfabeto A, B, C, D, E, F, G: la primera A puesta al lado del primer dia de Enero, la segunda al lado del 2°; y asi de las demás, hasta la septima G al lado del 7°: volviendo despues en el mismo órden A al 8°, B al 9°, hasta el fin del año. Por este medio, correspondiendo cierta letra á un dia de la semana, se sabe que en todo el año corresponderá constantemente al mismo; y así, si el primer dia de Enero, indicado por la letra A, es, por exemplo, un domingo, todos los demás dias del año que tengan al lado la misma letra A serán tambien domingos: ó si el 5 de Enero en que está la letra D es un domingo, todos los dias del año señalados por esta letra serán tambien domingos. Por cuya razon, sea la que fuere esta letra, se llama *dominicál*: y despues de ella, la siguiente indica el lunes, la otra el martes &c.

16 Como el año comun se compone de 365 dias, esto es, de cincuenta y dos semanas y un dia, la letra A que se coloca en el primer dia del año

debe tambien corresponder al último ; y por conseqüencia, el primer dia del año siguiente al que principió por domingo, será lunes, y el domingo se hallará en el siete de Enero señalado por la letra G. Esta letra será, pues, la letra dominical en este año, que principiando por un lunes acabará igualmente por un lunes : y en el tercer año, principiando por el martes, la letra F que señalará el 6 de Enero será la letra dominical. Del mismo modo, E será la letra dominical del quarto año, D del quinto ; y así en adelante, retrogradando siempre.

17 Por lo dicho, se vé, que si todos los años fuesen de 365 dias, al cabo de siete años el mismo dia del mes volvería á caer en el mismo dia de la semana. Pero, como por el aumento del dia intercalár, cada quarto año es de 366 dias, esto es, de 52 semanas y dos dias, quando el año bisiesto principia por domingo, acaba por lunes, y el año siguiente principia por martes. De esto resulta un trastorno del primer órden ; porque, el primer domingo de tal año debe ser el 6 de Enero y corresponder á la letra F, que era la letra dominical del año despues, en la suposicion hecha. Por lo qual, la serie de las letras dominicales, interrumpidas de quatro en quatro años, no puede renovarse hasta 4 veces 7 ó 28 años. Este periódo ó cyclo

clo [1], despues del qual los dias del mes y de la semana vuelven á corresponderse, es el que se llama *cyclo solár*: no porque tenga la menor relacion con el curso del Sol, sino porque el domingo se distinguió en otro tiempo por dia del Sol.

18 Suponiéndose para el año bisiesto que el 24 y 25 de Febrero tienen la misma letra, como si fueran un solo dia, el año bisiesto debe tener dos letras dominicales: la primera que sirve desde el principio del año hasta el 24 ó 25 de Febrero, y la segunda para el resto del año.

19 *Para hallar el cyclo [2] solár de un año propuesto*: Añadase 9 al número dado, y dividiendo la suma por 28, el número restante manifestará el cyclo solár buscado. Si no hay resta, es una señal de que dicho año es el 28 ó último del cyclo; y el quo-

(1) *Periódo* significa en la Cronología una época ó interválo de tiempo, por el qual se cuentan los años: ó una serie de años, por cuyo medio el tiempo se mide de diferentes modos, en diferentes ocasiones y por diferentes naciones.

Cyclo significa un cierto periódo ó serie de números, que proceden ordenadamente hasta cierto término, y que se renuevan despues sin interrupcion del mismo modo.

(2) Puede notarse, que la palabra cyclo se aplica en general, no solamente á todos los números que componen el periódo, sino á cada número en particular. Asi se dice, que en el año de 1788 el cyclo solar es 5.

quociente sañalará el número de periódos del cyclo solár verificados desde la era vulgar.

La razon de esta operacion depende, de que en el primer año de Jesu Christo se habian ya pasado, ó suponen pasados, 9 años del cyclo.

Asi se hallará que en el año de 1788 el cyclo solar es 5, y que se habian pasado 64 cyclos.

20 El año de 1700, cuyo cyclo solar era 1, debia tener, si hubiese sido bisiesto, como le correspondia en el Calendario juliano, las dos letras dominicales C, B; pero como se hizo comun, siguiendo la correccion gregoriana, C fué la única letra dominical para todo el año, y por consequencia B la letra dominical del siguiente, y A, G las de los otros dos. Asi se vé, que en el cyclo solár desde el año de 1700 hasta el de 1800, el órden de las letras dominicales es DC, B, A &c.; y de aqui se deduce la siguiente tabla.

Cyclo solár desde el año gregoriano 1700 hasta el 1800.

1...DC	5...FE	9...AG	13..CB	17..ED	21..GF	25..BA
2......B	6..... D	10....F	14....A	18....C	22....E	26....G
3......A	7......C	11.... E	15....G	19.... B	23....D	27....F
4......G	8......B	12....D	16....F	20... A	24....C	28. ...E

De-

21 Determinado, pues, el cyclo solar (19) se hallará inmediatamente en esta tabla la letra dominicál; y por consiguiente, por qué dia de la semana principia un año propuesto del periódo que comprehende. Siendo claro, que, si la letra dominicál es A, el dia primero del año es domingo: si B, sábado: si C, viernes; y asi en adelante, segun el órden retrogrado.

22 La segunda supresion de un bisiesto en 1800 produce otra novedad en el cyclo solár, que hace indispensable alterar la tabla antecedente, para poder aplicarla al siglo XIX. El cyclo solar del año 1800 es 17; y por consiguienre, si fuese bisiesto, E, D, deberían ser sus letras dominicales; pero, haciéndose comun, E será la letra dominical durante todo el año: y la de los años siguientes D, C, B. Por donde se vé, que al primer bisiesto, cuyo cyclo solar es 21, corresponden las dos letras dominicales A, G; y que, retrocediendo, al cyclo 1 deben corresponder las dos letras dominicales E, D. Por esto, para adaptar la tabla antecedente á los años comprehendidos entre 1800 y 1900, no hay mas que hacer, que principiarla por la quinta columna: poniendo, como en la siguiente, 1 al lado de E, 2 al lado de C; y asi en adelante. Por cuyo camino, podrá tambien hacerse propia para los

los siglos posteriores, atendiendo á los preceptos del Calendario gregoriano (7).

Cyclo solár desde el año gregoriano 1800 hasta el 1900.						
1...ED	5...GF	9...BA	13.DC	17..FE	21..AG	25..CB
2......C	6......E	10....G	14....B	18....D	22....F	26....A
3......B	7......D	11....F	15....A	19....C	23....E	27....G
4......A	8..... C	12....E	16.....G	20....B	24....D	28....F

23 Para los cómputos eclesiásticos del Calendario, se usa tambien el cyclo lunár, que ántes de la correccion gregoriana arreglaba las fiestas movibles de todo el año. El *cyclo lunár* es un periódo de 19 años, en el qual suceden 235 lunaciones: de modo que, al cabo de 19 años, los novilunios acaecen en el mismo grado del zodiaco, y por consiguiente en el mismo dia del año. En el Calendario gregoriano, se cuenta por primer año del cyclo lunár, el en que el novilunio sucede el 1º de Enero, y las 235 lunaciones se distribuyen doce en cada año, que componen 228 lunaciones, alternativamente de 29 y 30 dias, y restan 7 que se llaman *embolismicas* ó *intercaláres*. De estas hay 6 de 30 dias cada una; pero la septima es de 29 dias

días solamente, y se coloca al fin del cyclo ó del año diez y nueve.

24 El ateniense Meton publicó este cyclo unos 43 años ántes de Jesu Christo, y fué mirado en Grecia, como un descubrimiento tan bello é importante, que sus cálculos se grabáron con letras de oro: de donde viene, que aun se llame *número de oro* al año del cyclo lunár correspondiente á qualquier época.

25 Como en el año uno de Jesu Christo debió ser dos: *Para hallar el número de oro*, al año de nuestra era se añade uno: y la suma dividida por 19 dá en la resta el año del cyclo lunár, ó número de oro que conviene al año propuesto.

26 Por exemplo: dividiendo 1789 por 19, el quociente manifiesta que el cyclo lunár se ha renovado 94 veces desde Jesu Christo, y la resta que 3 es el número de oro para el año de 1788. Y si no se hubiese hallado resta, sería una prueba, de que el año propuesto es el último del cyclo lunár.

27 Llámase *epacta* en el Calendario á lo que es menester añadir al año lunár para hacerlo igual al año solár. Pero estas epactas difieren de las astronómicas, porque el objeto de las primeras es, hallar los dias de los novilunios eclesiásticos segun la regla establecida en 1582, y las segundas se desti-

tinan á calcular exáctamente las sizigias astronómicas, que no se conforman del todo con aquellas. Como el número de oro, es el periódo que determina la vuelta de la misma edad [1] de la Luna en el mismo dia del año, entre el número de oro y las epactas, hay cierta correspondencia, aunque no constante para todos los siglos, por las dos causas que indicarémos inmediatamente.

28 Siendo la epacta asignada á cada año, el número que indica, segun el Calendario eclesiástico, la edad de la Luna al principio del mismo año, se sigue, que si la Luna sucede el 1 de Enero, la epacta para este año será cero; pero el año siguiente será de 11 dias, que es el exceso del año solár de 365 al lunár de 354 dias. Por la misma razon, el año próximo la epacta será de 22: el tercer año de 33, ó de 3 solamente, substrayendo 30 dias de aquel número, para formar un mes completo; y asi en adelante, siguiendo el órden de los multiplos de once, y quitando 30 todas las veces que se pueda: á saber 11, 22, 3, 14, 25, 6, 17, 28, 9, 20, 1, 12, 23, 4, 15, 26, 7, 18, 29.

Es-

(1) Edad de la Luna es el tiempo pasado desde su novilunio.

29 Este órden, que es el natural y primitivo de las epactas, quando se suponen los meses lunares de 29 y 30 dias, y los años civiles de 365 dias con un bisiesto cada quatro años, es el que se supone en la época del concilio de Nicéa; pero, alejándose de ella, se le advierten dos defectos ó interrupciones, que se llaman *la equacion lunár*, y *la equacion solár*.

30 La primera procede de que el cyclo lunár es defectuoso de $1^h\frac{1}{2}$ proxîmamente, porque las 235 lunaciones no completan 19 años. Y la segunda de la supresion de tres bisiestos en el espacio de 400 años; de donde resulta que el novilunio suceda mas tarde, y que sea necesario disminuir la epacta. De esta doble desigualdad procede, que cada siglo exîge un nuevo órden de epactas: de las quales se han formado, por consiguiente, treinta series, que juntas, forman un total tan perfecto como exígen los usos de la Iglesia y de la Sociedad civil.

31 Estas treinta series, que forman otros tantos Calendarios y se hallan en los libros de Cronología, son precisas, para hallar la epacta correspondiente á un número de oro y año determinado; pero si no se tienen, podrá usarse una regla particular para este siglo y el siguiente.

32 En este intervalo, la epacta es cero, quando el número de oro es uno, 11, quando el número de oro es 2, 22 quando el número es 3 : 33, ó, quitando 30, solamente 3, quando el número de oro es 4; y asi en adelante. Por lo qual, el *hallar la epacta correspondiente á qualquiera número de oro en los siglos XVIII y XIX*, se reduce á la operacion siguiente:

Multiplíquese por 11 el número de oro disminuido de una unidad: y, siendo mayor, divídase el producto por 30; la resta de la division es la epacta del año propuesto.

Por exemplo: 22 es la epacta de 1788.

33 Substrayendo de $29\frac{1}{2}$ dias la epacta del año, se tendrá el novilunio de Enero. Y constando este mes de 31 dias, esto es, de dia y medio mas que el mes sinódico de la Luna, á la epacta se añade dia y medio, y se substrae la suma de $29\frac{1}{2}$, para tener el dia del novilunio de Febrero. Y como en los años comunes, los meses de Enero y de Febrero componen juntos dos meses sinódicos ó 59 dias, la epacta del año, restada de $29\frac{1}{2}$ dias, dá el novilunio de Marzo. Y aumentando continuamente la epacta del exceso del mes al mes sinódico, y restando la suma de $29\frac{1}{2}$ dias, se tendrá el novilunio de cada mes; y el dia del plenilunio, añadiéndole 14 dias.

Aten-

34 Atendiendo á estos principios, y para evitar fracciones, el mes sinódico se considera ordinariamente de 30 dias, *y el dia del novilunio para un mes propuesto, se halla de este modo:*

Añadase la epacta al número de meses pasados desde Marzo inclusive: y substrayendo la suma de 29 ó 30, segun el mes de que se trata, tiene 31 ó 30 dias, ó de 60 si es demasiado grande; la resta indicará el dia del novilunio, á corta diferencia.

35 *Para hallar la edad de la Luna:*

Sumense la epacta, el número de meses pasados desde Marzo inclusivemente, y el dia del mes; y la suma dará la edad de la Luna. Pero, siendo mayor que 30, se tomará el exceso, si el mes tiene 31; y el exceso á 29, si el mes solo tiene 30 dias.

36 El conocimiento de la epacta, con un Calendario perpetuo de las epactas, de los que se encuentran en las obras de Cronología, bastan para hallar facilmente la fiesta de la Pascua, y todas las demás movibles para un año propuesto. Pero, en defecto de tal Calendario, podrán emplearse las reglas dadas en los párrafos antecedentes. Y los preceptos que deben observarse sobre la distribucion de las fiestas movibles son los siguientes.

La

37 La fiesta de Pascua de Resurreccion, nunca se celebra ántes del 22 de Marzo ni despues del 28 de Abril: y asi, para determinarla, es necesario hallar el dia del plenilunio que acaece inmediatamente despues del 21 de Marzo; y el domingo próximo será el de la Pascua.

38 La Septuagesima es nueve semanas ántes de la Pascua, ó el dia 64 inclusive el de Pascua.

39 El Miércoles de Ceniza es el 47 ántes del dia de Pascua, contados uno y otro.

40 La fiesta de la Ascension es quarenta dias despues de Pascua, contados ámbos.

41 Las Letanias son el lunes, martes y miércoles ántes de la Ascension.

42 La fiesta de Pentecostes cincuenta dias despues de Pasqua, contados tambien uno y otro.

43 La Trinidad cincuenta y siete dias despues de Pascua, contados tambien ambos.

44 Corpus Christi sesenta dias despues de Pascua, sin contar el primero.

45 El primer domingo del Adviento, solo puede suceder desde el 27 de Noviembre hasta el 3 de Diciembre ambos inclusives; y por consiguiente, será siempre el domingo comprehendido en este interválo.

46 Las quatro temporas, que pueden mirarse

se como fiestas movibles, están fixadas á estas quatro épocas: 1.° la primera semana de Quaresma: 2.° la semana de Pentecostes: 3.° el miércoles despues de la exáltacion de la Santa Cruz, que se celebra el 14 de Septiembre: 4.° la tercera semana del Adviento.

47 Para la composicion de un Calendario deberán, pues, seguirse las siguientes reglas: 1.° Veáse si el año es comun ó bisiesto. 2.° Hállese la letra dominicál, y por ella arreglense los dias de la semana en todo el año. 3.° Coloquense las fiestas fixas. Esto podrá hacerse fácilmente por un Almanaque antiguo. 4.° Hállese el dia de la Pascua de Resurreccion, y por él distribuyanse todas las demás fiestas movibles. 5.° Por las tablas astronómicas, calculese la hora de los crepusculos, lugares de los planetas &c., segun el uso á que se destine el Calendario.

48 Por exemplo: hallando (19) que el cyclo solár para el año bisiesto (8) 1788 de nuestra era es 5, se vé (20) que sus letras dominicales son FE, y que el primer dia del año (21), es, por consiguiente, miércoles.

Calculando despues el número de oro 3 (26) y la epacta 22 (32), y por esta (34) el novilunio en 20; y por consiguiente (37) la Pascua de Resursurreccion el domingo próximo, que es el 23 de Marzo.

El Domingo de Septuagesima será el 20 de Enero (38).

El Miércoles de Ceniza, el 6 de Febrero (39).

La Ascension, el 1 de Mayo (40).

Las Letanias, el 28 &c. de Abril (41).

Pentecostes, el 11 de Mayo (42).

La Trinidad, el 18 de Mayo (43).

Corpus Christi, el 22 de Mayo (44).

Adviento, el 30 de Noviembre (45).

Las quatro temporas, los 13, 15, 16 de Febrero: 14, 16, 17 de Mayo: 17, 19, 20 de Septiembre: 17, 19, 20 de Diciembre (46).

49 Mucho mas tendriamos que decir, si nos propusiesemos extender aqui todo lo que pertenece al Calendario; pero bastando lo dicho para nuestro objeto, solo añadirémos, que los ayunos ó vigilias que corresponden al domingo, se trasladan siempre al sábado anterior, aunque sea fiesta.

DE LAS ÉPOCAS.

50 Llámanse *épocas* á ciertos sucesos notables, cuyos tiempos se conocen exâctamente, ó á corta diferencia, en la Cronología, y que sirven como de

de puntos fixos para referirles los demás sucesos. Y asi, la época es propiamente un término fixo de tiempo, desde el qual se cuentan los años.

51 Las principales épocas de la historia Sagrada son, por exemplo, la Creacion del Mundo, el Diluvio, la vocacion de Abraham, la salida de Egipto, Saul ó los Judios gobernados por Reyes, la captividad de Babilonia, la vuelta de la captividad, el nacimiento de Jesu Christo.

Las principales épocas de la historia Eclesiástica son, Constantino ó la paz de la Iglesia, el nacimiento del Mahometismo, el cisma de los Griegos, las Cruzadas, el gran cisma de Occidente, el Lutheranismo &c.

Las de la historia de España son, el dominio de los Cartagineses y Romanos, el reynado de los Godos, la irrupcion de los Sarracenos, D. Pelayo ó principio del reyno de Leon y principado de Asturias, S. Fernando ó union de los reynos de Castilla y Leon, los Reyes Católicos Doña Isabel y D. Fernando ó union de Aragon y Navarra con Castilla, Felipe el hermoso y Cárlos V ó Soberanos de la Casa de Austria, y Felipe V ó soberanos de la Casa de Borbon.

52 Como ninguna época tiene razon de preferencia exclusiva, cada nacion usa sus épocas, y el

el fixarlas, ó preferir unas á otras, es cosa absolutamente arbitraria. Esta diferencia no sería un inconveniente, sin embargo, si todas las épocas y sus mútuas correspondencias estuviesen bien conocidas; pero como en las mas hay dudas, que no pueden aclararse, esto produce una confusion en la Cronología, que hace, que los tiempos de las épocas sean diferentes, segun la opinion que se prefiere.

53 Como el conocimiento y uso de las épocas es de una grande utilidad en la Cronología é Historia, para reducir los años de una época á los de otra, esto es, para hallar qual es el año de una qualquiera que corresponde á un año dado de la otra, se ha inventado un periódo que principia ántes de todas las épocas conocidas, y es el que se llama *periódo juliano*. Todas las épocas se reducen á este periódo que consta del producto de los tres cyclos solár, lunár y de indiccion (17, 23, 59), esto es, de 28, por 19, y 15, ó 7980 años, determinando el año del periódo en que cada época principia. Y asi, no hay mas que añadir el año propuesto de una época al año del periódo que corresponde al principio de esta época; y, substrayendo el año del mismo periódo que corresponde á la otra época, la resta es el año en esta.

54 La *época de Jesu Christo* ó de Nuestro Señor,

ñor, que es la época vulgar de toda la Europa, se cuenta desde la natividad del Salvador el 25 de Diciembre, ó mas bien segun el modo ordinario de contar, desde su Circuncision el primero de Enero, que es el primer dia de nuestro año. Y el año del periódo juliano que precedió el del nacimiento y Circuncision de Jesu Christo, se cuenta ordinariamente el 4713 de este periódo; por lo qual, el primer año de nuestra era corresponde al 4714 del periódo juliano.

55 Asi, si á un año dado de Jesu Christo, se añade 4713; la suma indicará el año del periódo juliano que corresponde al año propuesto. Por cuyo medio se sabrá, que el año de 1787 en que estámos es el 6500 del periódo juliano. Y al contrario: si de un año dado del periódo juliano se quita 4713; la resta es el año corriente de Jesu Christo.

56 La época del nacimiento de Nuestro Señor sirve, no solamente para el cálculo de los años pasados desde el principio de la época, sino aun para el cómputo de los anteriores. Asi, para hallar el año del periódo juliano correspondiente á un año dado ántes de Jesu Christo, es necesario: substraer el año propuesto de 4714; y la resta será el año correspondiente que se busca.

Por exemplo : el año 753 ántes de Jesu Christo es el 3961 del periódo juliano. Al contrario : si de 4714 se substrae un año propuesto del periódo juliano ; la resta será el año correspondiente ántes de Jesu Christo.

57 En aquel y demás cálculos semejantes, debe tenerse presente, que, en el modo de contar de la mayor parte de los cronólogos, el año del nacimiento del Señor se llama el uno ántes de esta época, quando, segun MM. Cassini y la Lande, este año debe ser el cero para el cómputo del tiempo ántes de nuestra era, y el principio, ó uno, para lo sucesivo. En efecto : la muerte de Cesar sucedió, por exemplo, segun el modo ordinario de contar 44 años ántes de Jesu Christo ; y así, para saber los años pasados desde entonces, á 1787, se añadirán 44 ; pero la suma 1831 excede en un año al verdadero intervalo ; luego es necesario disminuirle de una unidad : lo que se excusaría, sí, en lugar de 44, se contasen 43 ántes de Jesu Christo, para tener desde luego el número 1830.

58 Entre los cyclos y periódos, que todos pueden mirarse como épocas que se multiplican ó renuevan segun el mismo órden, merecen atencion, además del solár y del lunár, el *cyclo de Indiccion*, y el *periódo Victorino* ó de *Dionisio Exiguo*.

El

59 El *cyclo de indiccion* es un periódo de 15 años, que principia tres años ántes de Jesu Christo, y que probablemente fué establecido entre los Romanos ácia el tiempo de la muerte de Constantino. Este cyclo no tiene relacion alguna con los movimientos celestes, y actualmente su mayor celebridad depende del uso que hacen de él los Papas en las bulas, suponiendo el principio del cyclo en el 1° de Enero.

60 *Para hallar el cyclo de indiccion correspondiente á un año propuesto*, es necesario: añadir 3 á este año; y, dividiendo la suma por 15, la resta es el cyclo de indiccion que se busca: y si no la hay, la indiccion es 15.

Por exemplo: la indiccion del año de 1788 es 6.

61 Si se multiplica el cyclo solár por el cyclo lunár, esto es, 19 por 28, resultará un periódo de 532 años, que se llama *cyclo pascual* ó *periódo victorino ó dionisiano*. Á este cyclo se le ha dado el primer nombre; porque en el Calendario antiguo, generalmente se hacía cada quatro años bisiesto, y se suponía, adoptando el cyclo lunár, que, al cabo de 19 años, los plenilunios caían en los mismos dias: de modo que, al cabo de 532 años, el dia de la Pascua caía en el mismo dia, y el cyclo se renovaba.

La

62 La *época de la Creacion del Mundo*, adoptada en el Martirologio Romano, es el año 5199 ántes de Jesu Christo.

63 La *época del Diluvio* debe tambien fixarse, segun el Martirologio, en el año 2957 ántes de Jesu Christo.

Este memorable suceso, de que Moyses nos ha dado la historia en el Genesis, es una de las principales épocas de la Cronología.

64 La *época de las olympiadas* es el año 3938 del periódo juliano, 776 ó 775 (57) años ántes de Jesu Christo. El cyclo solár era entonces 18, el cyclo lunár 5, y la indiccion 8.

La época de las olympiadas es muy famosa en la Historia antigua, y deriva su origen de los juegos olympicos que se celebraban cada quatro años, ácia el solsticio de verano, en los márgenes del rio Alfeo cerca de Olympia ciudad de Elida. Estos juegos fuéron instituidos por Hércules en honor de Júpiter, y despues restablecidos por Ifito rey de Elida.

65 La *época de la fundacion de Roma*, que tambien es muy notable, es el año 3961 del periódo juliano segun Varron, ó el año 3962 segun los Fastos capitolinos: que corresponden á los años 753 ó 752, y 752 ó 751 ántes de Jesu Christo, y prin-

principia el 21 de Abril. El año 753 tenia 13 de cyclo solár, 9 de cyclo lunár, y 1 de indiccion.

66 La *época ó era de Nabonassar* es el año 3967 del periódo juliano, que corresponde al año 747 ó 746 ántes de Jesu Christo, y principia el 26 de Febrero. Esta era se llama asi, por Nabonassar rey de Babylonia que la instituyó, y es la misma de que Ptolomeo y otros muchos astrónomos se han servido para las observaciones astronómicas.

67 En la *época de la muerte de Alexandro el grande* hay variedad; pero, segun Mr. de la Lande, debe referirse al 19 de Julio del año 4390 del periódo juliano, 324 ó 323 ántes de Jesu Christo.

68 La *época docleciana* es el año 4997 del periódo juliano, correspondiente al año 284 de Jesu Christo: y se llama tambien época de los mártires, por el gran número de christianos que padecieron martirio en el reynado de aquel Emperador

69 La *época juliana*, ó de los años julianos, es el año 4668 del periódo juliano, correspondiente al año 45 ántes de Jesu Christo: y principia en el año de confusion, en que Cesar reformó el Calendario.

70 La *época Española* es el año 4676 del periódo juliano correspondiente al año 38 ó 37 ántes de

de Jesu Christo. Algunos dicen, que, habiendo caído la España en la division del Imperio romano á Augusto, para hacerlo memorable se tomó por época el año que se posesionó de ella: contando en lo sucesivo Ab, Exordio, Regni, Augusti: de donde, reduciendo las palabras á las letras iniciales, resultó la AERA ó era. Pero sobre la etimología de esta palabra hay muchas opiniones.

Pedro IV rey de Aragon abolió el uso de esta era en sus estados en el año 1350 de Jesu Christo, y D. Juan el I en los de Castillá en el de 1383.

71 La *época mahometana* ó *hegira* es el año 5335 del periódo juliano, que corresponde al año 622 de Jesu Christo, y principia el 16 de Julio, que es el dia en que Mahoma se huyó de la Meca á Medina. Esta época está en uso, entre los Turcos, los Arabes, y generalmente entre todos los sectarios de Mahoma. El año arabe ó turco es un año lunár compuesto de 12 meses, que son alternativamente de 30 y de 29 dias, y aun algunas veces contiene 13 meses. Se añade un dia intercalár á cada 2°, 5°, 7°, 10°, 13°, 15°, 18°, 21°, 24°, 26°, 29° año de un cyclo de 30 años: y los años son embolismicos ó de 355 dias, y comunes ó de 354 dias.

IN

INDICE

DE LAS SECCIONES

DEL PRIMER LIBRO.

Que contiene los principios sobre que se funda mas inmediatamente la ciencia del Piloto.

Segunda Parte.

Que contiene la explicacion de los principales fenómenos vistos desde la Tierra.

un

Principios de Cronología.

Tomo I. Lam 1a

CARTA ESFERICA DEL GLOBO TERRAQUEO.

Longitud del Meridiano de Cadiz

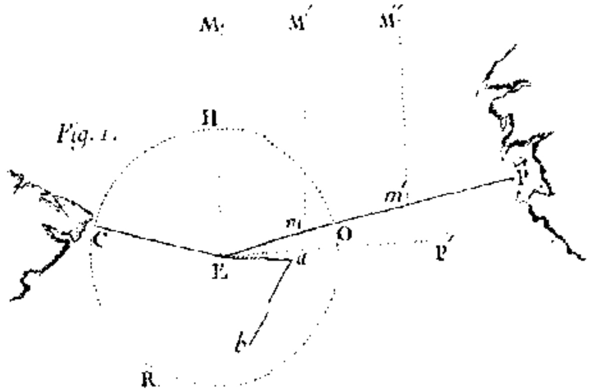


Fig. 1.

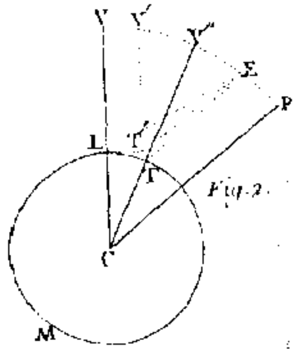


Fig. 2.

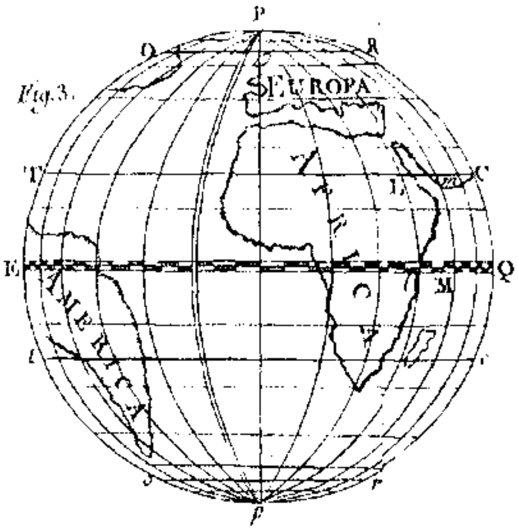


Fig. 3.

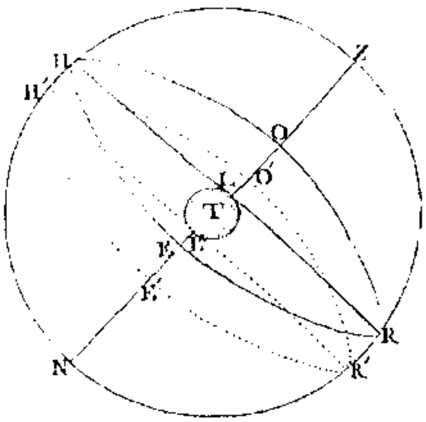


Fig. 4.

Fig. 5.

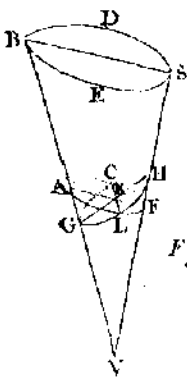


Fig. 6.

Fig. 7.

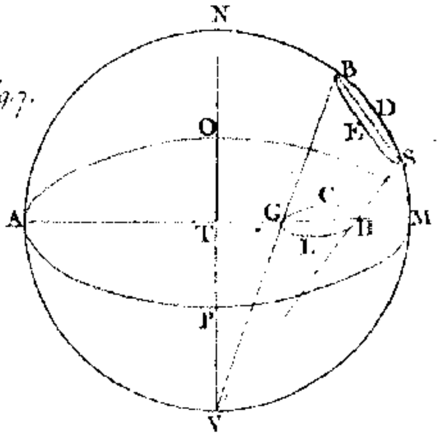


Fig. 8.

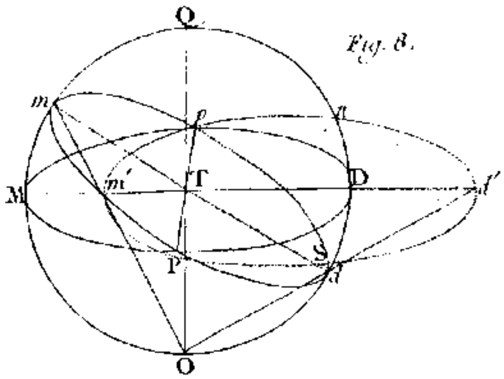


Fig. 9

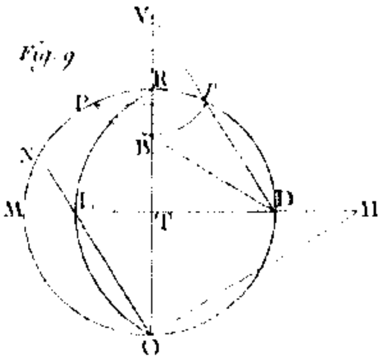


Fig. 10.

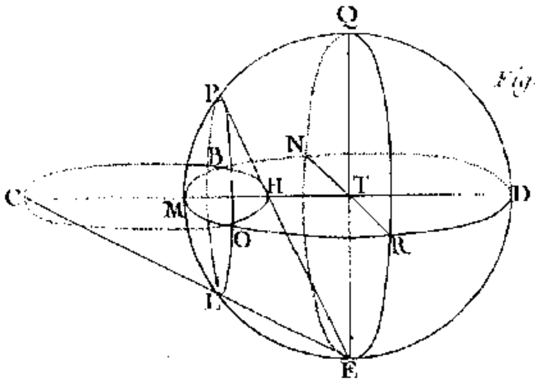


Fig. 11.

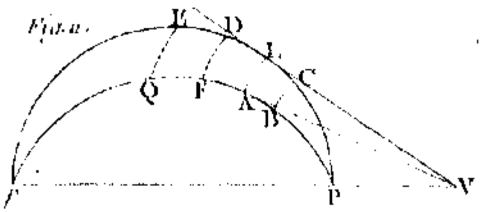
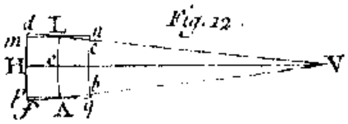


Fig. 12.



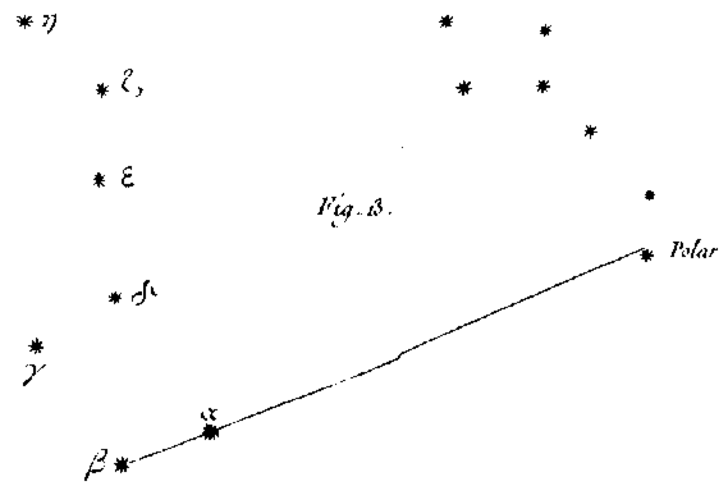
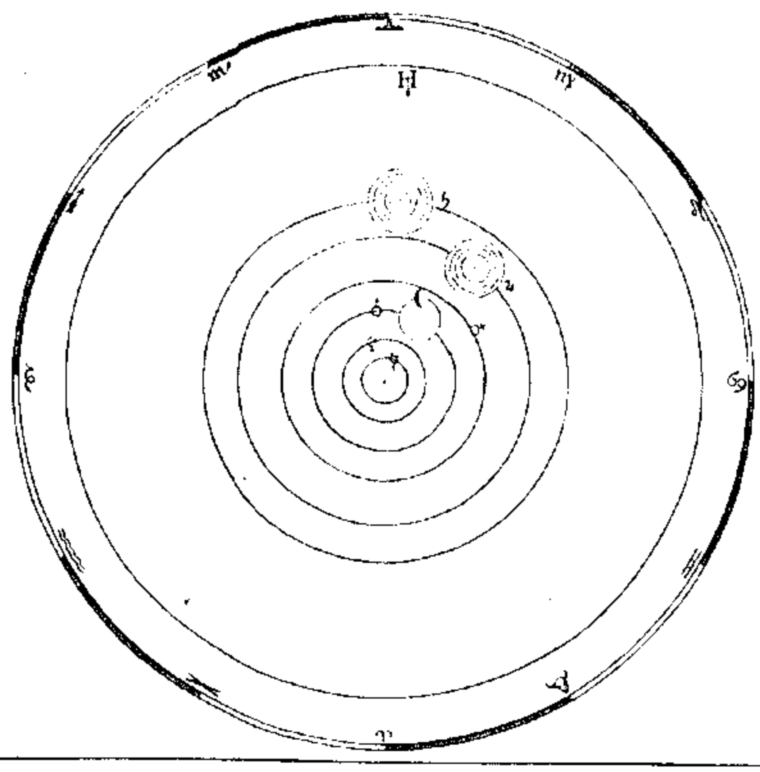


Fig. 13.

Fig. 14.



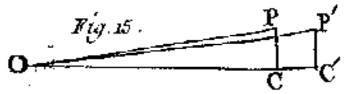


Fig. 15.

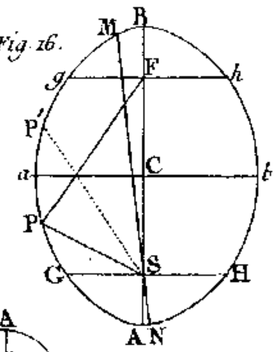


Fig. 16.

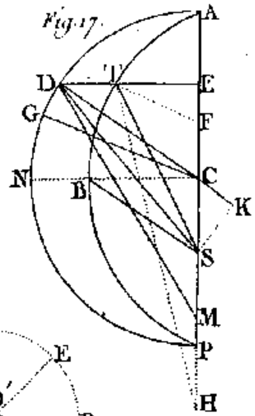


Fig. 17.

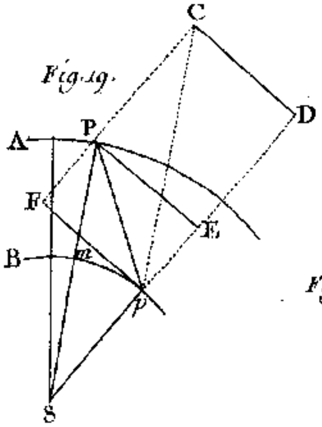


Fig. 19.

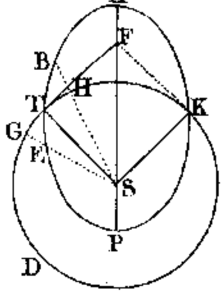


Fig. 18.

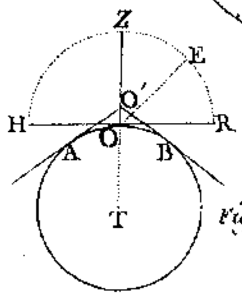


Fig. 20.

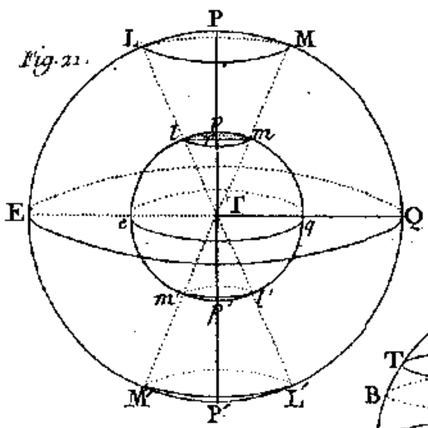


Fig. 21.

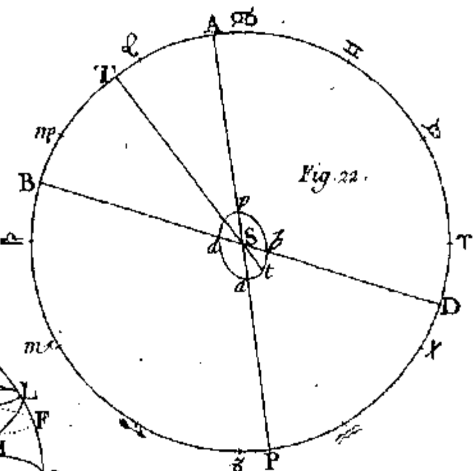


Fig. 22.

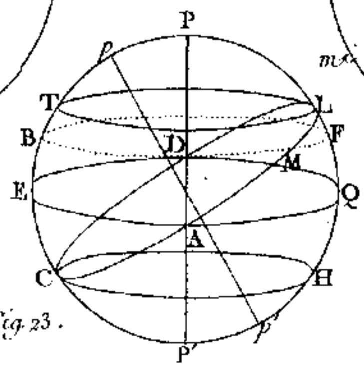


Fig. 23.

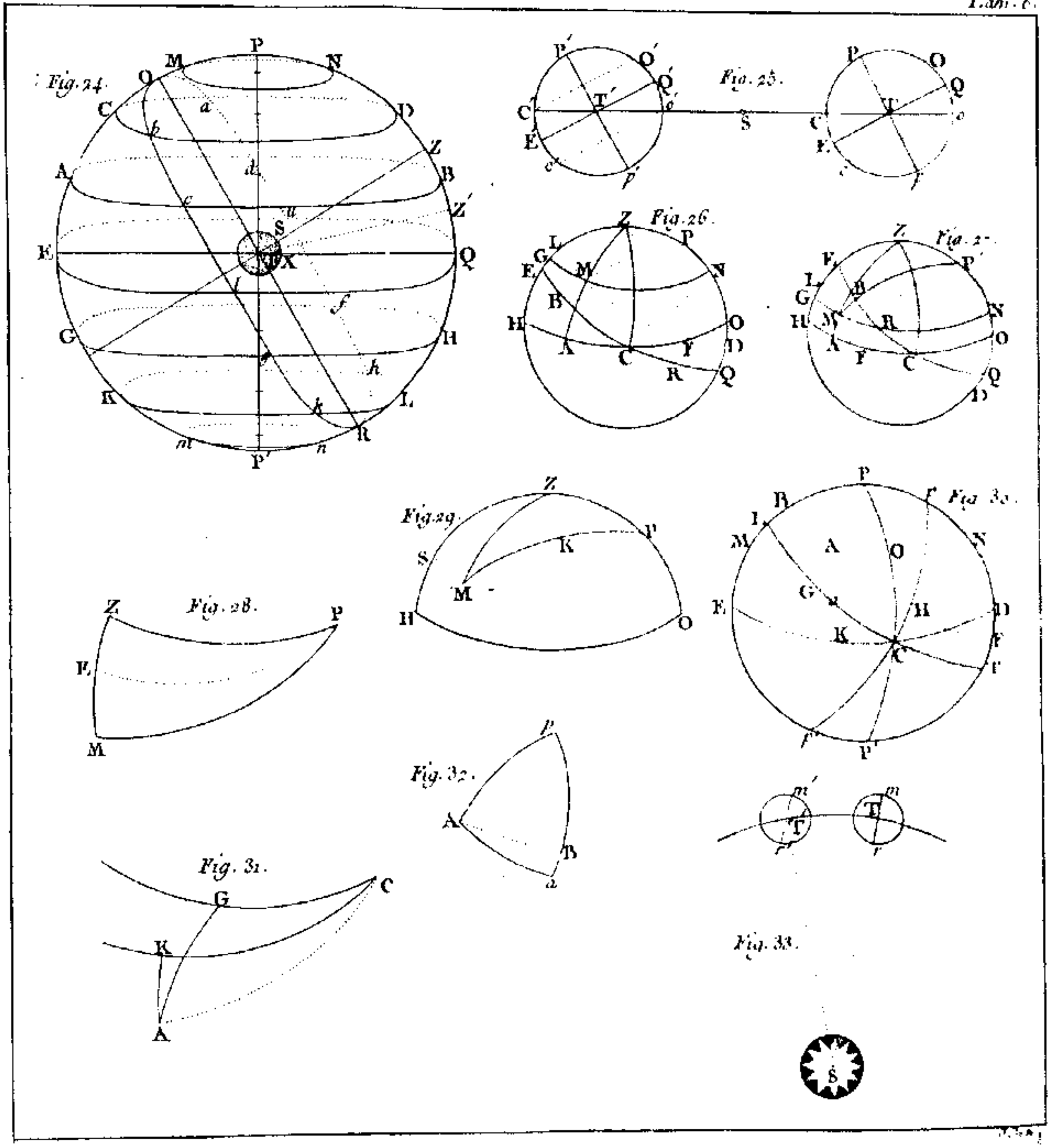


Fig. 24.
Fig. 25.
Fig. 26.
Fig. 27.
Fig. 28.
Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 31.
Fig. 32.
Fig. 33.

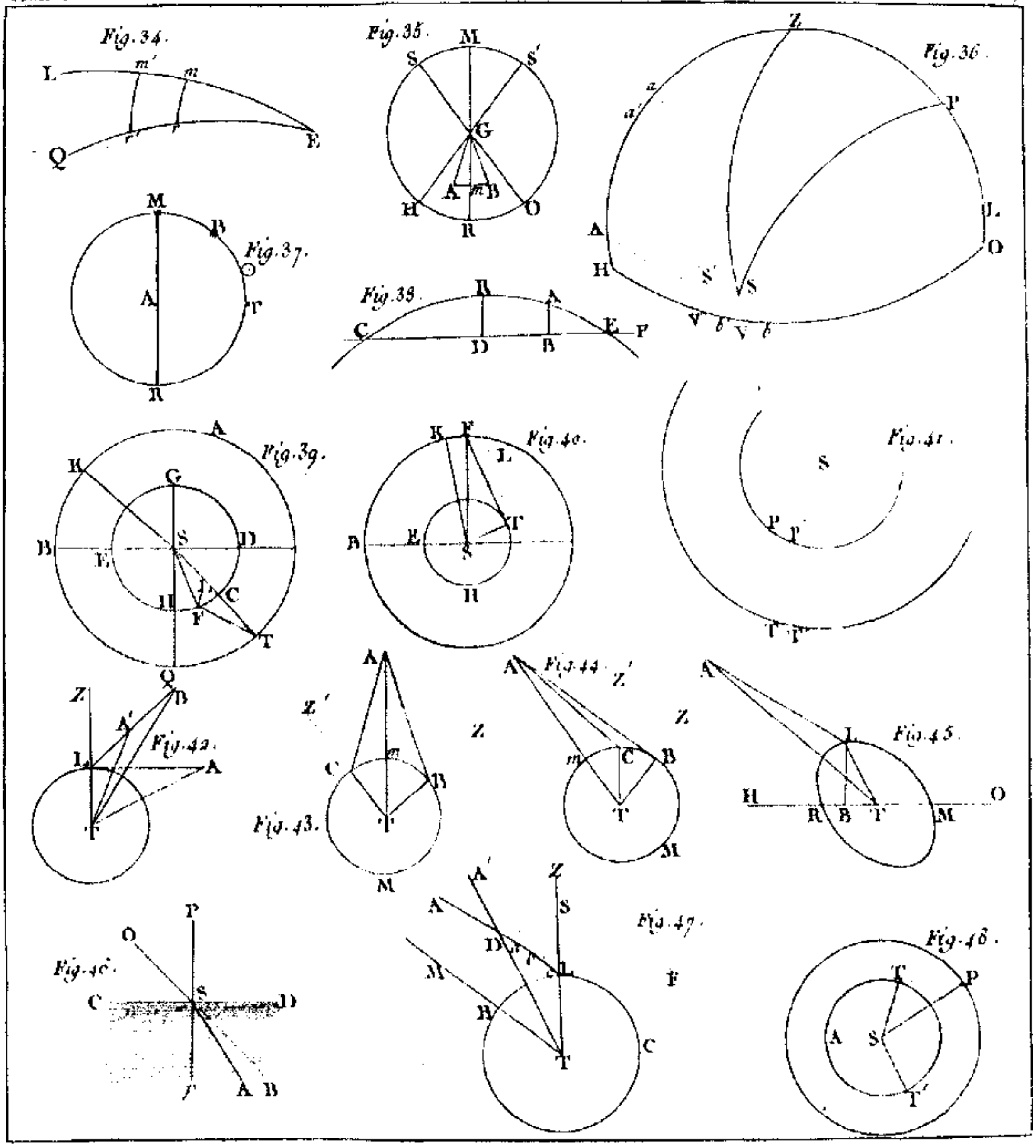


Fig. 34.
Fig. 35.
Fig. 36.
Fig. 37.
Fig. 38.
Fig. 39.
Fig. 40.
Fig. 41.
Fig. 42.
Fig. 43.
Fig. 44.
Fig. 45.
Fig. 46.
Fig. 47.
Fig. 48.

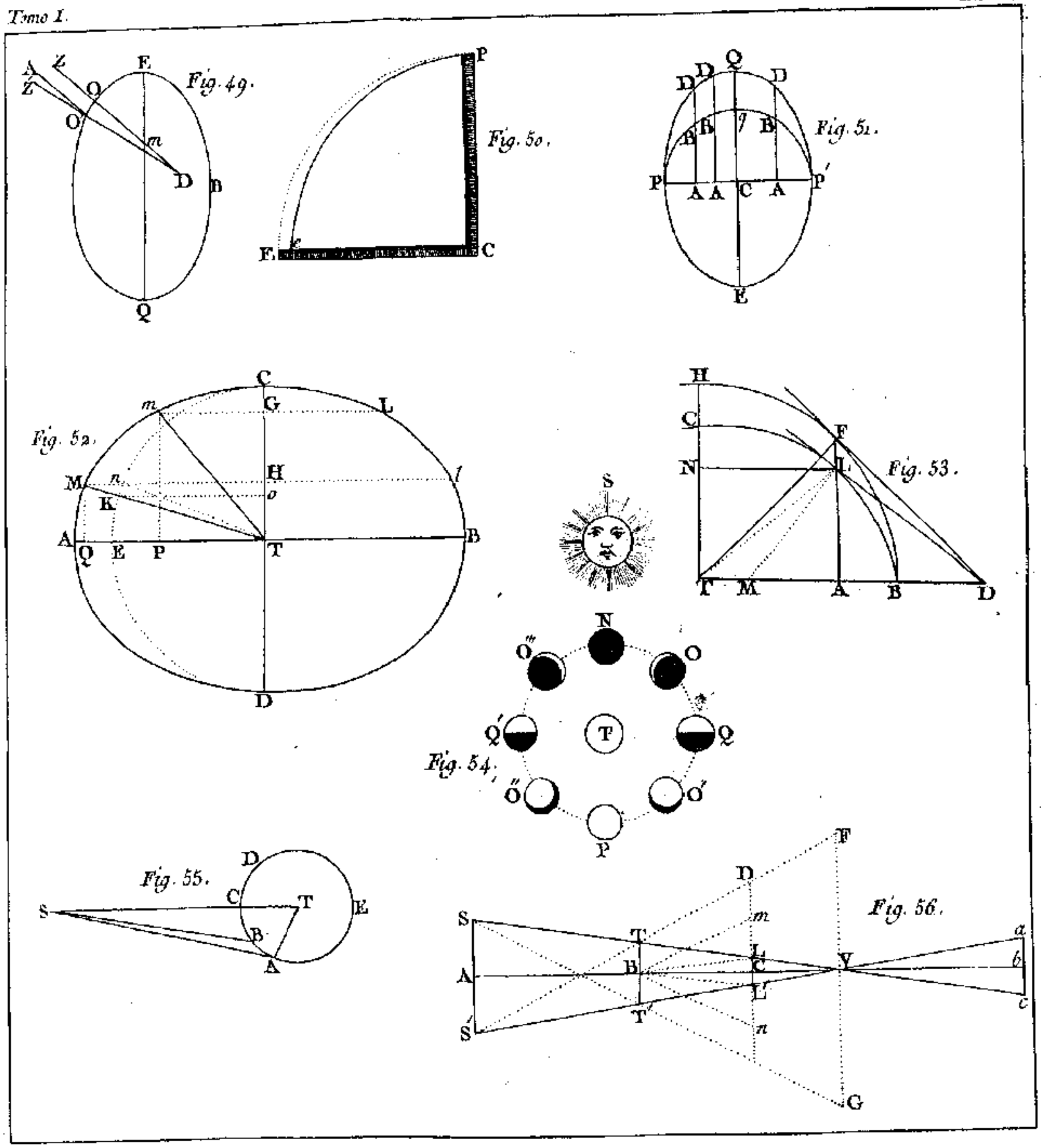


Fig. 49.
Fig. 50.
Fig. 51.
Fig. 52.
Fig. 53.
Fig. 54.
Fig. 55.
Fig. 56.

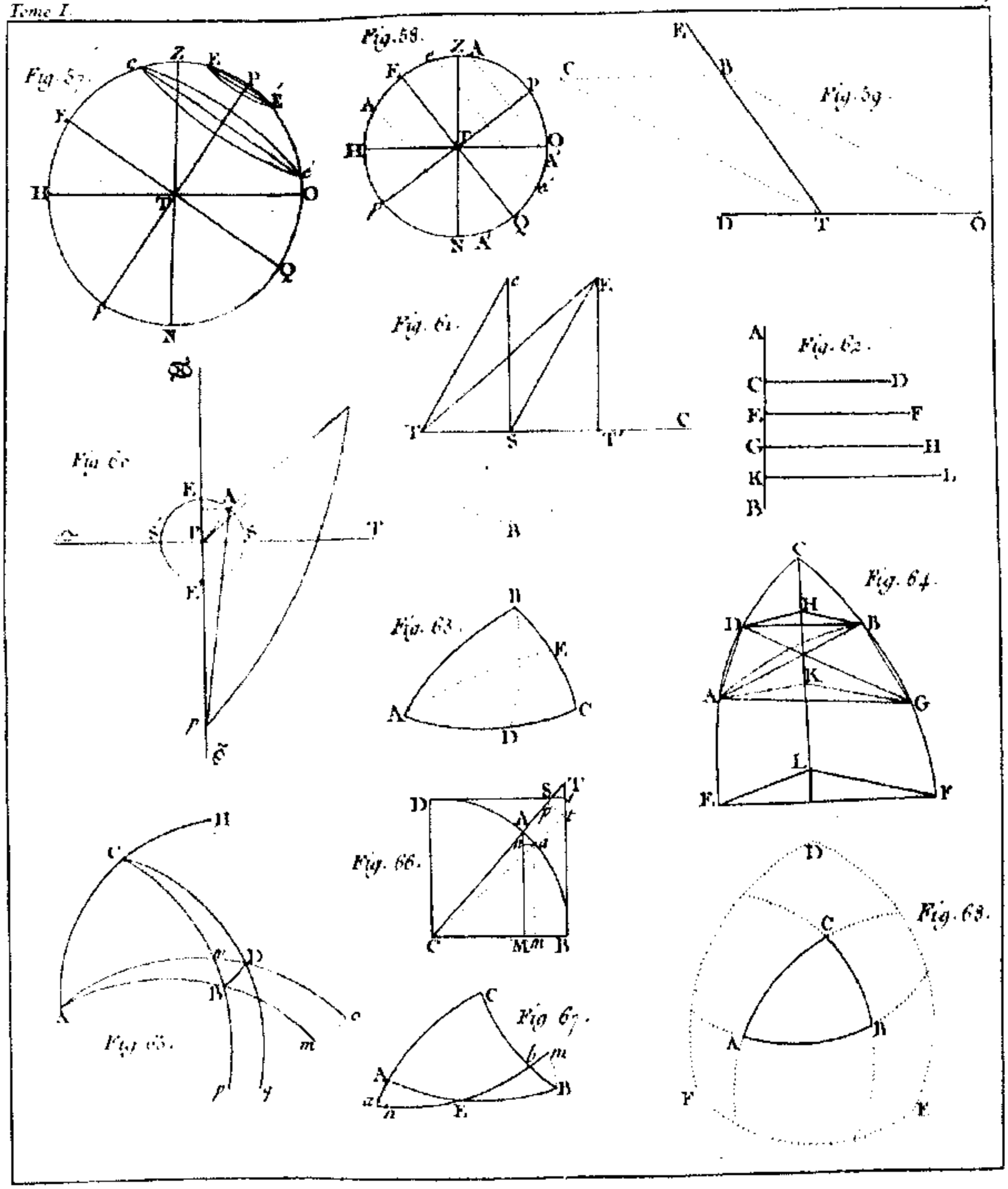


Fig. 57.
Fig. 58.
Fig. 59.
Fig. 60.
Fig. 61.
Fig. 62.
Fig. 63.
Fig. 64.
Fig. 65.
Fig. 66.
Fig. 67.
Fig. 68.

Fig. 69.

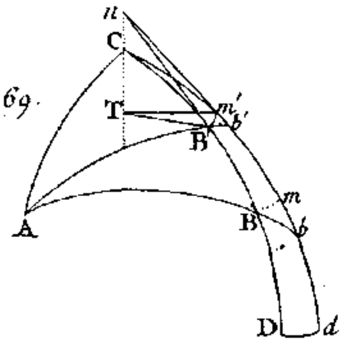
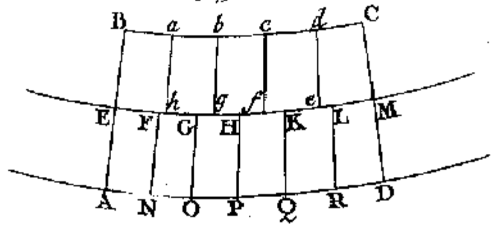


Fig 70.



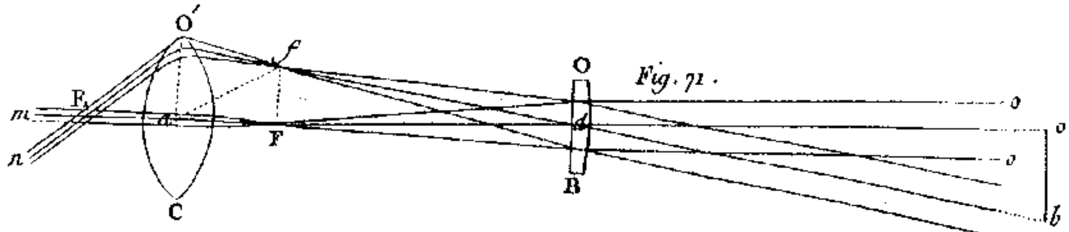


Fig. 71.

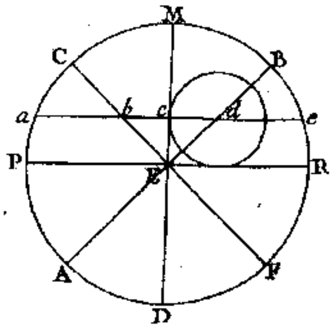


Fig. 72.

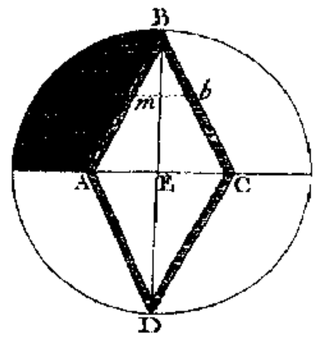


Fig. 73.

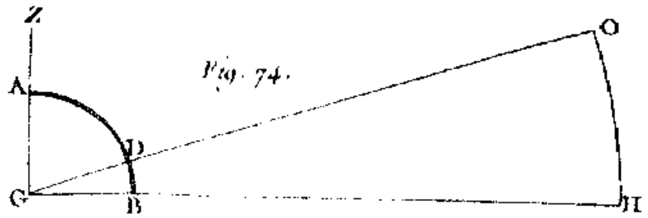


Fig. 74.

Fig. 76.

Fig. 75.

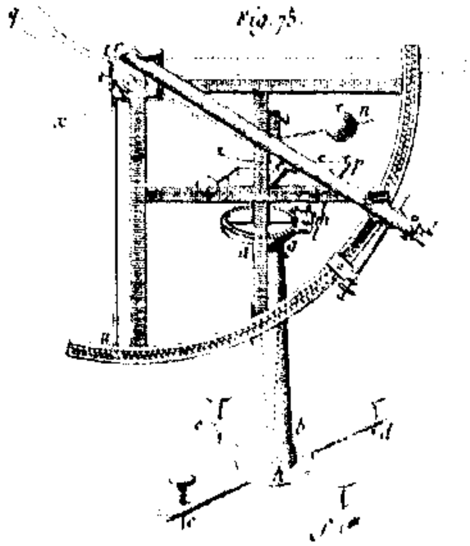


Fig. 78.

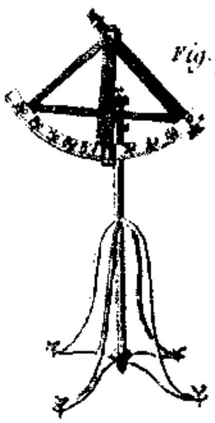


Fig. 77.